CARBURA

Office central suisse pour
l'importation des carburants et combustibles liquides

En coopération avec l'OFEFP
Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage

Rapport-cadre sur la

Sécurité des installations de stockage d'hydrocarbures

Version révisée 2005

SKS *Ingenieure AG*
CH-8057 Zurich

Avant-propos

Les installations de citernes verticales destinées aux combustibles et aux carburants liquides permettent de stocker de grandes quantités de ces produits, et sont donc un pilier important de la sécurité de l'approvisionnement énergétique de la Suisse. De par leurs stocks, ces installations constituent un danger potentiel important, raison pour laquelle elles sont soumises à l'ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (OPAM). Celle-ci fait obligation aux exploitants d'installations de stockage de mettre en œuvre toutes les mesures de sécurité appropriées, indispensables pour réduire les risques qui y sont liés. Quant aux autorités chargées de l'exécution de l'OPAM, elles sont tenues, dans le cadre d'une procédure de contrôle et d'évaluation, de vérifier si les exploitants respectent leurs obligations.

Tant les exploitants que les autorités d'exécution de l'OPAM, de même que l'OFEFP dans son rôle d'autorité de surveillance de l'exécution de l'OPAM, sont conscients de l'importance de leur mission. Ils ont conjugué leurs efforts pour élaborer le présent rapport-cadre. Celui-ci a pour but de faciliter la détermination des mesures de sécurité nécessaires ainsi que la rédaction et l'évaluation du rapport succinct que les exploitants ont à remettre à l'autorité d'exécution en vue de lancer la procédure de contrôle et d'évaluation.

L'édition révisée de 2005 repose sur le premier rapport-cadre d'octobre 1992 et sur le projet de 1999 mis en consultation, révisé et testé dans la pratique. Elle prend en compte l'état actuel des connaissances de la branche ainsi que les expériences glanées au fil du temps à la faveur de l'application de l'OPAM à ces installations; profitant des progrès réalisés en Suisse ces dernières années dans le domaine de la recherche sismologique, ses auteurs l'ont en outre complété par une annexe donnant des informations relatives à l'analyse d'installations de citernes verticales dans l'optique de la survenance de tremblements de terre. L'OFEFP estime que ce document constitue un auxiliaire approprié à une application uniforme de l'OPAM dans les installations de stockage exploitées dans toute la Suisse. L'édition révisée 2005 a été élaborée et mise à jour sous la direction de l'OFEFP, par un groupe de travail composé de délégués des autorités cantonales d'exécution et de représentants de la branche. Les coûts inhérents à ces travaux ont été pris en charge par la société CARBURA, à l'exception de certaines études techniques réalisées sur mandat de l'OFEFP.

Le développement technologique ne marquant aucun arrêt dans le domaine des installations de stockage d'hydrocarbures, l'exécution de l'ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs est une tâche permanente. La présente édition du rapport-cadre doit servir à améliorer encore davantage la sécurité de ces installations grâce à la conjugaison des efforts de l'ensemble des partenaires. Nous tenons à remercier ici tous ceux qui ont contribué, d'une façon ou d'une autre, à la réussite de ce travail.

Novembre 2005

Office fédéral de l'environnement,
des forêts et du paysage (OFEFP)
Division Air, RNI, Sécurité

Martin Schiess

Impressum

Les personnes suivantes, toutes membres du groupe de travail «Révision du rapport-cadre sur la sécurité des installations de stockage d'hydrocarbures», ont collaboré à la réalisation du présent rapport:

Dr. M. Schiess (présidence)	OFEFP, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Section sécurité des installations, Berne (nouvellement OFEV)
R. Mürner	armasuisse, Berne (anc. OFEFT, Office fédéral des exploitations des Forces terrestres, Section combustibles)
Dr. F. Berdat	Office cantonal de l'industrie et du travail, division protection de l'environnement, Berne
R. Braun	KCB, Kontrollstelle für Chemie- und Biosicherheit, Bâle-Ville (anc. KCGU)
Dr. P. Buss	AFU, Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, Lucerne
Dr. R. Dumont	Kant. Laboratorium Aargau, Sektion Chemiesicherheit und Stoffe, Aarau
G. Fiolka	AFU, Amt für Umweltschutz des Kts. St. Gallen, Abt. Stoffe und Abfälle, St-Gall
Madame Y. Frésard	SEVEN, Service de l'environnement et de l'énergie, Epalinges (VD)
J. Rickenbacher	SIT, Sicherheitsinspektorat des Kantons Basel-Landschaft, Liestal
Dr. G. Ruchti	Dipartimento del Territorio, Divisione dell'ambiente SPAA, Bellinzona
Dr. A. Stämpfli	AFU, Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen, St-Gall
Dr. A. Susini	OCIRT, Office cantonal de l'inspection et des relations du travail, Genève
E. Hofmann	Shell Switzerland, Baar (ZG)
M. Rahn	CARBURA, Office central suisse pour l'importation des carburants et combustibles liquides, Zurich
Rédaction du rapport:	
Madame M. Bernauer	SKS Ingenieure, Zurich
Dr. M. Montanarini	SKS Ingenieure, Zurich
P. Gassner	SKS Ingenieure, Zurich
L. Audergon	SKS Ingenieure, Zurich
R. Sägesser	SKS Ingenieure, Zurich

Ont participé de manière épisodique:

A. Burri	OFEFT, Office fédéral des exploitations des Forces terrestres, Section combustibles, Berne
Dr. U. Brühlmann	KSF, Koordinationsstelle für Störfallvorsorge, Zurich
R. Rettenhaber	CARBURA, Office central suisse pour l'importation des carburants et combustibles liquides, Zurich
Secteur sismologie:	
Dr. M. Koller	Résonance SA, Genève
Dr. T. Wenk	Wenk Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik GmbH, Zurich
P. Zwicky	Basler & Hofmann AG, Zurich

Table des matières

1 Introduction 1
1.1 Situation et but de la révision 1
1.1.1 Premier rapport-cadre (édition 1992) 1
1.1.2 Rapport-cadre révisé (texte de 1999 mis en consultation) 1
1.1.3 Version épurée (édition 2005) 1
1.2 Contenu du rapport-cadre 1
1.3 A propos de l'emploi du rapport-cadre 2

2 Eléments de base 3
2.1 Importance des éléments de base pour l'estimation des dommages potentiels 3
2.2 Causes et effets probables des accidents majeurs 3
2.3 Caractéristiques des produits 6
2.3.1 Structure physico-chimique des hydrocarbures 6
2.3.2 Propriétés écotoxiques des hydrocarbures 8
2.3.3 Propriétés des produits d'extinction 9
2.3.4 Conséquences sur l'estimation des dommages 9
2.4 Critères d'appréciation 10

3 Description des scénarios 12
3.1 Conditions de validité des scénarios 12
3.2 Arbre des scénarios 13
3.3 Evénements déterminants 13
3.3.1 Eléments de base 13
3.3.2 Scénario principal «incendie» 14
3.3.3 Scénario principal «fuite d'hydrocarbures» 14
3.3.4 Scénario principal «explosion» 14
3.4 Cas spéciaux 17
3.4.1 Explosion d'un nuage de gaz (no 12) 17
3.4.2 Boil over (no 16) 17
3.5 Autres scénarios 18
3.5.1 Explosion d'une citerne (no 2) 18
3.5.2 Incendie d'une citerne (no 4) 19
3.5.3 Incendie d'une citerne et du bassin (no 14) 19
3.5.4 Infiltration dans le sol (no 26) 19

4 Ampleur des dommages dans le scénario «incendie d'un bassin» 20
4.1 Evénement déterminant 20
4.2 Calcul du rayonnement de chaleur 20
4.3 Estimation des effets 20

5 Ampleur des dommages dans le scénario «fuite d'hydrocarbures» 23
5.1 Evénements déterminants 23
5.1.1 Conditions préalables 23
5.1.2 Infiltration d'hydrocarbures dans les canalisations publiques (no 21) 23
5.1.3 Ecoulement d'hydrocarbures en surface (no 22) 23

5.2 Estimation des quantités répandues 23
5.2.1 Marche à suivre 23
5.2.2 Infiltration d'hydrocarbures dans une canalisation publique (no 21) 24
5.2.3 Ecoulement d'hydrocarbures en surface (no 22) 25
5.3 Estimation des effets 26

6 Ampleur des dommages dans le scénario «Explosion» 29
6.1 Evénement déterminant 29
6.2 Calcul de l'onde de choc 29
6.3 Estimation des effets 29

7 Cas spéciaux 32
7.1 Explosion d'un nuage de gaz 32
7.1.1 Enoncé du problème 32
7.1.2 Evénements déterminants 32
7.1.3 Estimation des effets (rayonnement de chaleur, onde de choc) 32
7.2 Boil over 34
7.2.1 Enoncé du problème 34
7.2.2 Estimation des effets 34
7.2.3 Calcul des rayons d'évacuation 34
7.3 Dégâts matériels (indicateur n_6) 35
7.3.1 Situation 35
7.3.2 Estimation des effets 35

8 Calcul de l'indice d'accident majeur 36

Liste des tableaux

Tab. 2.1 Cause des accidents majeurs dans des installations de stockage à citernes verticales 4

Tab. 2.2 Principales propriétés physico-chimiques des hydrocarbures 7

Tab. 2.3 Valeurs toxicologiques des huiles minérales considérées 9

Tab. 2.4 Ampleur d'un dommage grave, selon les directives de l'OFEFP 10

Tab. 6.1 Critères pour l'estimation de l'impact d'une onde de choc sur les personnes 30

Tab. 7.1 Critères pour l'estimation de l'impact d'une onde de choc sur les infrastructures 35

Liste des illustrations

Fig. 1.1	Structure du rapport	2
Fig. 3.1	Conditions préalables garantissant l'exactitude des scénarios déterminants	13
Fig. 3.2	Arbre des scénarios	16
Fig. 4.1	Rayons de létalité R_1, R_{50} et seuil de douleur R_S calculés depuis le bord du bassin en fonction de la surface du bassin considéré	21
Fig. 6.1	Diagramme servant à déterminer les distances d'action d'une explosion se produisant dans une canalisation	30
Fig. 7.1	Formation d'un nuage de gaz suite à l'évaporation dans un bassin de longueur L et propagation du nuage de gaz inflammable jusqu'à une distance R du bord du bassin	33
Fig. 7.2	Largeur B du nuage et éloignements maximaux du bord du nuage par rapport au bord du bassin R ainsi que domaines de pression E (0,21 bar) et D (0,17 bar)	33
Fig. 8.1	Echelle permettant de convertir les effets d'un accident majeur en indices d'accident majeur, selon la directive OFEFP	36

Appendice

Annexe 1	Bibliographie
Annexe 2	Glossaire
Annexe 3	Ampleur des dommages correspondant à l'indice d'accident majeur 0,3 selon les directives de l'OFEFP
Annexe 4	Evaluation sismologique d'installations de citernes verticales
Annexe 5	Récapitulation des mesures générales de sécurité, formulaire pour l'application de l'article 3 de l'OPAM (rapport succinct, partie 1)
Annexe 6	Formulaire pour l'estimation de l'ampleur des dommages (rapport succinct, partie 2)

1 Introduction

1.1 Situation et but de la révision

1.1.1 Premier rapport-cadre (édition 1992)

L'ordonnance sur les accidents majeurs, entrée en vigueur en 1991, «a pour but de protéger la population et l'environnement des graves dommages résultant d'accidents majeurs». Vu les grandes quantités de matières entreposées dans les installations de stockage d'hydrocarbures liquides, et étant donné que ces matières sont soit dangereuses pour les eaux, soit inflammables, ces installations sont assimilées aux entreprises dépassant le seuil quantitatif en vertu de l'OPAM [12]. Elles doivent donc faire l'objet de rapports succincts.
Afin de promouvoir une application uniforme de l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM) dans tous les cantons, un rapport, intitulé «Rahmenbericht zur Sicherheit von Stehtankanlagen» (en langue allemande) avait été réalisé entre 1990 et 1992 à l'initiative de la branche concernée, représentée par la société CARBURA, en collaboration avec les autorités fédérales et cantonales [8]. Ce rapport décrivait l'état des connaissances telles qu'elles étaient à ce moment-là. Grâce à une représentation détaillée du scénario «incendie» et à la création d'un formulaire spécifique pour l'établissement du rapport succinct, ce document permettait d'évaluer les installations de manière uniforme. En revanche, il ne comportait que des rudiments d'appréciation pour d'autres types d'accidents majeurs (p. ex. le scénario «fuite d'hydrocarbures»).

1.1.2 Rapport-cadre révisé (texte de 1999 mis en consultation)

Suite à un certain nombre de confusions dans l'évaluation des rapports succincts et, par conséquent, dans l'application de l'OPAM, mais aussi en raison des expériences recueillies depuis lors sur les critères d'évaluation, lesquels ont pris un caractère définitif dans la directive de l'OFEFP de septembre 1996 [1], une refonte du rapport-cadre s'imposait. En 1995, la décision fut donc prise de constituer un groupe de travail, placé sous la direction de l'OFEFP, chargé d'élaborer des bases d'appréciation plus fiables.

Lors de la révision, l'accent a été mis, d'une part, sur la présentation et la description des scénarios déterminants ainsi que sur les atteintes qui peuvent en résulter, et, d'autre part, sur la récapitulation des mesures de sécurité nécessaires pour la prévention des accidents majeurs, au sens de l'article 3 de l'OPAM.

1.1.3 Version épurée (édition 2005)

Dans la phase de consultation, l'édition révisée a été utilisée pour plusieurs installations dans différents cantons. Tant les exploitants d'installations que les autorités estimèrent a priori que le rapport succinct et le rapport complémentaire étaient utilisables. Ces dernières années, les données enregistrées un peu partout dans le monde lors de tremblements de terre dans le cadre de l'association internationale de génie parasismique ont considérablement gagné en ampleur et en pertinence. Parallèlement, la recherche sismologique a fait des progrès en Suisse, surtout en ce qui concerne l'amélioration des connaissances des effets locaux des tremblements de terre (zonage). L'OFEFP et CARBURA en ont profité pour faire réaliser une étude système portant sur le comportement d'installations de stockage lors de tremblements de terre, et en tirer des directives pour l'analyse sismologique d'installations de citernes verticales. Ces directives sont annexées au présent rapport (annexe 4).

1.2 Contenu du rapport-cadre

Le corps du présent rapport décrit la «Marche à suivre pour estimer les dommages potentiels résultant d'accidents majeurs dans une installation de stockage d'hydrocarbures» (estimation des dommages potentiels). Il fournit aussi les données de base sur les substances et décrit les trois scénarios déterminants d'un accident majeur: incendie, fuite d'hydrocarbures, explosion. L'observation des mesures générales de sécurité (voir le chap. 3.1 et la «Récapitulation des mesures générales de sécurité» à l'annexe 5 du présent rapport[A]) forme la base de la validité de ces scénarios déterminants et, partant, de l'estimation des dommages potentiels en cas d'accident majeur. Le formulaire servant à estimer les dommages, do-

[A] Cette récapitulation a été réalisée d'après la directive CARBURA [4] complétée par des mesures de sécurité complémentaires.

cument qui facilite les investigations sur une installation ainsi que l'enregistrement des données relevées, constitue l'annexe 6.

Le rapport est conçu de manière à ce que chaque chapitre puisse être utilisé comme module pour calculer les divers scénarios (voir fig. 1.1).

Les annexes 1 et 2 présentent une liste des ouvrages de référence et un glossaire définissant les principaux termes; l'annexe 4, comme on l'a déjà vu, propose des directives permettant d'évaluer les installations de stockage dans l'optique des tremblements de terre.

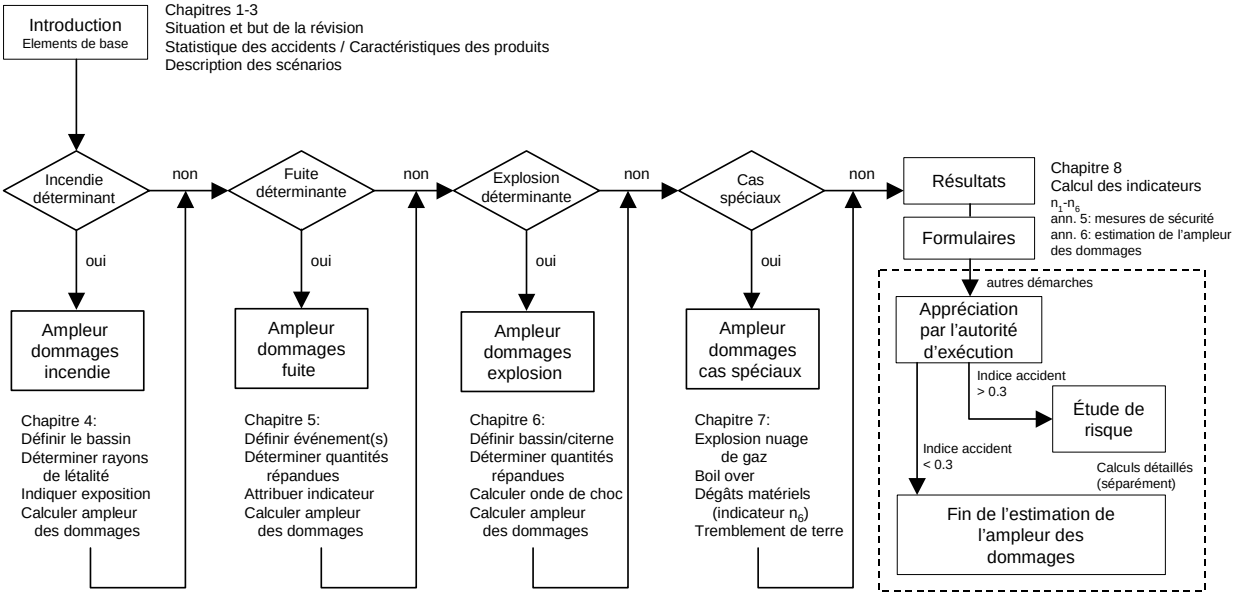


Fig. 1.1: Structure du rapport

1.3 A propos de l'emploi du rapport-cadre

Le présent rapport permettra à l'exploitant de faire le point sur les mesures de sécurité qu'il a déjà prises, mais aussi d'établir les scénarios déterminants pour son entreprise et, ainsi, d'estimer les dommages potentiels. Ce rapport est conçu de manière à ce que l'exploitant puisse lui-même réunir les données de base nécessaires et effectuer les estimations. Après cette opération, l'exploitant devra discuter les résultats de ses investigations et ses conclusions avec les autorités compétentes. A cette fin, il est conseillé d'effectuer une visite conjointe du site.

Pour faciliter l'enregistrement des conclusions, l'exploitant dispose de deux formulaires qui lui permettront de réunir rapidement la documentation nécessaire et d'effectuer sans problèmes les estimations requises. Ces deux documents remplacent le formulaire réalisé en 1992 pour établir le rapport succinct (pour les détails, voir l'annexe 6).

Grâce à ce nouveau rapport-cadre, les exploitants d'installations qui n'avaient pu être évaluées définitivement sur la base du rapport succinct de 1992 ont maintenant la possibilité de combler cette lacune et, par conséquent, de procéder à une évaluation définitive de leurs installations.

S'agissant des installations qui ne donnent lieu à aucune critique sur la base du rapport succinct de 1992, il n'y a pas lieu de remanier ce dernier. Une nouvelle évaluation serait néanmoins une occasion pour l'exploitant de faire le point sur l'état de son installation en matière de technique de sécurité.

Dans tous les cas, il y a cependant lieu de remplir, à l'annexe 5, le chapitre 7 «Sécurité contre les tremblements de terre» du rapport succinct, et de le remettre aux autorités compétentes pour appréciation.

2 Eléments de base

2.1 Importance des éléments de base pour l'estimation des dommages potentiels

Lors de l'évaluation d'une installation de stockage au moyen d'un rapport succinct au sens de l'OPAM, on se base généralement sur les scénarios d'accident générant très rapidement les plus grands dommages. Par conséquent, des mesures actives ne sont pas prises en considération.

Dans le cas des installations d'entreposage, le facteur «temps» prend une importance toute particulière à cause de l'évolution assez lente de la situation, contrairement à ce qui se passe pour d'autres installations où les risques d'accidents majeurs sont également élevés. Les statistiques des accidents (chiffre 2.2) permettent elles aussi de conclure qu'il n'est pas nécessaire, pour estimer les dommages inhérents à des installations comptant plusieurs citernes, de tenir compte du potentiel de risques pour l'ensemble des produits stockés. En fait, l'ampleur maximale des dommages n'est déterminée que par une partie du produit stocké. Pour établir quels sont les scénarios déterminants, on peut donc adopter les deux conventions ci-après:

1) **Une seule** citerne tombe en panne; c'est uniquement en cas de tremblement de terre que plusieurs citernes de même construction peuvent être endommagées.
2) La **défaillance** (simultanée) d'un bassin de rétention est exclue. La justification de cette hypothèse en cas de tremblement de terre est exposée à l'annexe 4.

Ces deux conventions se basent sur la réalisation supposée des mesures de sécurité élémentaires au sens de l'article 3 de l'OPAM. Présentées à l'annexe 5, sous le titre «Récapitulation des mesures générales de sécurité», ces mesures sont structurées d'après les thèmes suivants: protection contre l'incendie, organisation de l'alarme et plan d'intervention, autres mesures de sécurité, coordination avec d'autres domaines et, pour terminer, le thème spécial de la construction des bassins de rétention.

Lorsque la récapitulation démontre que l'installation satisfait aux mesures de sécurité selon l'annexe 5, on peut procéder à l'estimation selon les présentes directives. Si certaines mesures n'ont pas été prises ou si elles sont insuffisantes, il convient d'abord, soit d'y remédier, soit de compléter l'estimation des dommages par d'autres scénarios, qu'il faudra encore définir en fonction de la situation.

On trouvera ci-après une description détaillée des deux conventions émises ci-dessus, vues sous l'angle de la statistique des accidents (ch. 2.2), des caractéristiques des produits (ch. 2.3) et des critères d'appréciation (ch. 2.4). Il convient ensuite de décrire les scénarios déterminants (ch. 3) avant d'examiner en détail leur impact et d'en établir l'évaluation (ch. 4).

2.2 Causes et effets probables des accidents majeurs

Les citernes verticales font partie des installations techniques largement utilisées depuis des décennies. Même s'il en existe de divers types, et que ceux-ci se distinguent par leur taille et leur construction, il s'agit toujours d'une construction fondamentalement simple servant au stockage d'hydrocarbures liquides. A l'échelon mondial, on estime qu'il y a un million de grandes citernes verticales (sans compter les dépôts sur les sites de production), et qu'elles ont à leur actif de nombreuses années d'exploitation.

De ce fait, les accidents de citernes verticales et d'installations de stockage sont parmi les mieux connus, même si aucune statistique n'est parfaite. Les données dont on dispose permettent de définir clairement des scénarios d'accidents majeurs. On n'a donc pas besoin d'établir des hypothèses comme c'est le cas pour des événements très rares (p. ex. barrages de retenue ou centrales nucléaires).

Un accident majeur dans une installation de stockage peut avoir diverses causes, que l'on peut subdiviser comme suit:

- Causes extérieures et événements naturels
  (p. ex. tremblement de terre, affaissement de terrain/érosion, glissement de terrain, foudre, chute d'avion)
- Erreur humaine
  (p. ex. travaux de révision, négligence dans l'entreprise ou lors de l'entretien, sabotage depuis l'extérieur ou depuis l'intérieur de l'installation)

- Défaut technique
  (p. ex. corrosion, défaut de construction, manque de stabilité hydrostatique)

Le tableau 2.1 ci-après présente une vue d'ensemble des causes d'accidents majeurs dans les installations de stockage et de leur fréquence. [11]

Tab. 2.1: Cause des accidents majeurs dans des installations de stockage à citernes verticales (128 accidents majeurs sur 138 événements pris en compte entre 1975 et 1988 [11])

	Nombre d'événements				
Causes	**essence**	**kérosène**	**diesel**	**mazout**	**total des cas**
Erreur humaine	26 (3*)	4	12 (2*)	1	43
Défaut technique	15 (2*)	2	5		22
Evénements naturels	5 (3*)	2	1	2	10
Causes inconnues	40 (7*)	3	9	1	53

* Le chiffre entre parenthèses indique le nombre max. de décès par événement; la plupart des victimes faisaient partie du personnel technique de l'entreprise ou des pompiers.

Selon ce tableau, l'erreur humaine est la cause connue la plus fréquente des accidents enregistrés; elle est suivie par les défauts techniques et les événements naturels.

Les accidents dans les installations de stockage de carburant diesel étaient généralement dus à des actes de vandalisme qui ont entraîné la libération du produit entreposé et, par voie de conséquence, une pollution du sol et des eaux. Dans les dépôts où on ne stocke que du mazout ou du carburant diesel, et où il n'y a pas de matières facilement inflammables, les produits ne peuvent s'enflammer qu'après un apport important de chaleur. Même délibérément, il est difficile de faire prendre feu à du mazout ou à du diesel. Il est de ce fait beaucoup plus rare qu'un accident majeur suivi d'un incendie se produise dans un dépôt de mazout que dans un dépôt d'essence.

Un examen plus approfondi des données recueillies dans le monde entier ces trente dernières années [11, 23] montre en outre que l'impact d'un accident majeur dépasse rarement les limites du site de l'entreprise. Dans bien des cas, le site a subi de graves dommages matériels, alors que le voisinage a rarement été touché et que les dégâts étaient minimes. Un seul cas a fait exception: l'explosion d'un nuage de gaz (Saint Herblain, F, 1991), où les fenêtres ont volé en éclats dans un rayon de 2 km. Dans un seul cas, c'est le mur du bassin qui a été endommagé (Jacksonville, USA, 1984), mais un tel accident n'est pas envisageable en Suisse, puisque le mur du bassin était en briques et que l'accident a été provoqué par un fort effet thermique.

En trente ans, la Suisse a connu cinq accidents graves dans des installations de stockage de carburant liquide (Birsfelden BL 1970, Cadenazzo TI 1974, Gerlafingen SO 1982, Vernier GE 1992 et Deisswil BE 1996). Dans le cas de Birsfelden et de Gerlafingen, il s'agissait de l'explosion d'une citerne mais, dans les deux cas, seule l'installation a été touchée. Les trois autres cas sont présentés en détail à titre d'exemple.

Explosion d'une citerne à Cadenazzo TI en 1974

Le 16 janvier 1974, une équipe de spécialistes entreprit avec quatre ouvriers le nettoyage d'une citerne d'essence de 4'400 m³ dans le dépôt de Cadenazzo. Par temps froid, le travail commença par l'aération de la citerne au moyen de tuyaux de ventilation; l'opération dura 75 minutes. Ensuite, un ouvrier muni d'un masque de protection, d'un appareil respiratoire et de souliers antistatiques entra dans le bas de la citerne par le trou d'homme pour récupérer, avec une pelle et un seau, la boue d'hydrocarbures qui s'était amassée au fond de la citerne. Lorsque le seau était plein, il le passait par le trou d'homme à deux collègues se trouvant à l'extérieur. Suite à une interruption de courant, la lampe EX qui servait à éclairer l'intérieur de la ci-

terne s'éteignit brutalement. Au cours de l'inspection du transformateur électrique non muni d'une protection contre les explosions, il se produisit une étincelle qui mit le feu au mélange de gaz d'essence dans le bassin entourant la citerne. Il est probable que des vapeurs d'essence se soient écoulées dans le bassin de rétention via le trou d'homme pendant l'opération d'aération et les travaux de nettoyage, et qu'elles aient provoqué ce mélange de gaz inflammable. Ensuite, les tuyaux d'aération ont pris feu, et les vapeurs d'essence s'écoulant par le trou d'homme ont provoqué des flammes de 30-40 m de hauteur. Un ouvrier a pu se sauver en sautant derrière un mur de protection, l'autre a empoigné un extincteur pour se frayer un passage à travers les flammes afin de pouvoir sauver son collègue enfermé à l'intérieur. A peine les ouvriers avaient-ils pu s'éloigner qu'une forte explosion secouait la citerne. Au bout d'une vingtaine de minutes, les flammes ont diminué et il se produisit un retour de flamme dans la citerne. Une très forte explosion, suivie d'une immense flamme, détruisit le toit de la citerne et le projeta dans les airs. Une moitié de celui-ci endommagea les conduites; l'autre moitié provoqua des fissures dans une citerne voisine avant de chuter sur le mur du bassin de rétention. L'essence et le mazout qui s'écoulèrent des conduites endommagées se consumèrent dans le bassin de rétention. La fermeture automatique de toutes les vannes des citernes empêcha une propagation plus importante du feu. A leur arrivée, les pompiers ont combattu, à l'aide d'extincteurs mobiles à poudre, le feu dont l'intensité avait fortement diminué entre-temps. La forte onde de choc de l'explosion a entièrement détruit le bâtiment d'exploitation et fait voler en éclats toutes les fenêtres des bâtiments du voisinage. Hormis des brûlures au 2ième degré chez un des ouvriers de l'équipe de nettoyage, l'explosion et l'incendie ont provoqué uniquement des dommages matériels.

Fuite de kérosène à Vernier GE en 1992

Le 25 janvier 1992 (un samedi soir), 4000 m^3 de kérosène devaient être amenés par pipeline de Marseille à Vernier. Le transport devait être effectué par tranches dans deux citernes, l'une de 2000 m^3 et l'autre de 3000 m^3. Par erreur, la première livraison de 2700 m^3 a été déversée dans la citerne de 2000 m^3, ce qui l'a fait déborder. Les ouvriers ont tout d'abord essayé de corriger eux-mêmes l'erreur et de transvaser le kérosène dans la grande citerne de 3000 m^3. Entre temps, quelque 250 m^3 de kérosène s'étaient déjà répandus dans le bassin de rétention. C'est un voisin qui a alarmé les pompiers. 15 minutes plus tard, ceux-ci étaient déjà à l'oeuvre, mais environ 10 m^3 de kérosène s'étaient déjà écoulés jusque dans les égouts publics conduisant à la station d'épuration. Pour pouvoir récupérer le kérosène et en même temps sauvegarder le processus d'épuration, les eaux usées ont été dirigées directement dans le Rhône. A titre préventif et pour éviter une explosion, une grande quantité de produits d'extinction a été préparée, qui n'a heureusement pas dû être utilisée (voir aussi le rapport-cadre de 1992, réf. 8).

Explosion d'une citerne suivie d'un incendie, à Deisswil BE en 1996

Dans l'installation de stockage située au nord-ouest de Deisswil (capacité = 5 x 2000 m^3), le 25 mars 1996, peu avant 16 h 30, une citerne contenant environ 500 m^3 d'huile de chauffage lourde a explosé. La force de l'explosion a projeté le toit de la citerne sur les installations électriques sises en bordure du terrain de football. Le manteau de la citerne, qui avait été fortement endommagé par l'explosion et par l'incendie, s'est affaissé, formant ainsi une sorte de couvercle sur l'incendie du contenu de la citerne. Grâce à l'intervention rapide du service de lutte contre les accidents d'hydrocarbures, on a pu refroidir les citernes voisines et éviter ainsi qu'une citerne pleine n'éclate et se vide de son contenu; pour une deuxième citerne, à moitié pleine, on a pu éviter qu'elle explose à son tour. C'est après plusieurs heures seulement que les services d'intervention ont pu introduire de la mousse dans la citerne et, ainsi, éteindre l'incendie. A cette intention, des trous avaient été préalablement percés à l'aide d'une machine de chantier. Pendant l'intervention, une quantité inconnue de produits d'extinction s'est déversée dans la «Worbla», puis dans l'Aar. Par ailleurs, un mélange d'eau, d'huile et de produits d'extinction s'est répandu par un endroit non étanche jusque dans la Worbla. C'est pourquoi, le lendemain, on a rapidement vidé le bassin de rétention. En plus de la pollution des eaux, l'installation a subi des dommages considérables.

On possède une analyse assez systématique, dont aussi d'accidents de moindre importance, qui se sont produits en France [23]. Cette statistique porte sur 400 installations d'entreposage où se sont produits 58

accidents en cinq ans. Selon cette statistique, un accident entraîne rarement des atteintes hors du site de l'entreprise. Cette analyse montre aussi que la fuite de produit sans incendie représente la forme la plus fréquente (80% des cas) d'un accident sur un site de stockage. Mais même dans les rares accidents graves survenus dans des citernes verticales de stockage, on n'a pas enregistré d'atteintes sérieuses, comme il ressort des directives de l'OFEFP sur les critères d'appréciation[1].

2.3 Caractéristiques des produits

Des connaissances sur les caractéristiques des produits sont indispensables pour pouvoir parfaitement comprendre les scénarios, l'estimation des dommages potentiels ainsi que les études de risque. Or, en cas d'accident, il ne suffit pas de connaître les substances qui composent les produits, il faut aussi disposer d'informations précises sur les quantités stockées. Parmi les produits qui peuvent porter atteinte à la population et à l'environnement en cas d'accident, il n'y a pas seulement les hydrocarbures stockés, mais encore les produits d'extinction utilisés en cas d'incendie et qui, une fois mélangés à l'eau d'extinction, peuvent se répandre dans le voisinage. On trouvera ci-après des informations sur les propriétés des quatre principales huiles minérales entreposées dans les installations de stockage [4, 24, 25].

2.3.1 Structure physico-chimique des hydrocarbures

La structure chimique exacte des huiles minérales peut varier en fonction du lieu d'extraction, du type de raffinage, de la saison ou de leur utilisation. En général, ces variations sont cependant secondaires dans le contexte de la sécurité des installations. Les produits stockés sont groupés dans des classes de danger en fonction de leur point éclair [4]. Ils présentent les caractéristiques suivantes:

- **Essence** (essence pour moteurs d'automobiles, essence d'aviation , carburant, essence pour moteurs, essence, en anglais gasoline)
  Classe de danger cat. F1ℓ

  L'essence contient surtout des composés hydrocarburés, avec 5 à 9 atomes de carbone (composés C5 à C9) du groupe des alcanes, cycloalcanes, alcènes, aromates. L'essence est un liquide incolore et inflammable, dont la température d'ébullition se situe entre 40 et 220° C; à -20°C (point éclair), ce liquide peut déjà former des vapeurs explosibles plus lourdes que l'air. Il est presque impossible de mélanger l'essence et l'eau. La solubilité de l'essence pour moteurs d'automobiles se situe à 120 mg/l env. à une température de 20° C [selon 25].

- **Kérosène** (carburant pour turbines d'avion, essence d'aviation, pétrole d'aviation, en anglais jet fuel, kerosene)
  Classe de danger cat. F2ℓ

  Le kérosène est le produit d'une des fractions de la distillation du pétrole; il apparaît entre l'essence et le carburant diesel et contient un mélange complexe de composés hydrocarburés. Vu son utilisation dans les réacteurs, la teneur en hydrocarbures aromatiques ne doit pas dépasser 20 à 25% et celle en naphtaline 3%. Ce carburant a un point d'ébullition situé entre 180 et 280° C et un point éclair entre 30 et 40° C; sa solubilité dans l'eau se situe entre 5 et 40 mg/l. Les avions supersoniques utilisent un mélange de carburant contenant en majeure partie des isoalcanes et des cycloalcanes dont le point d'ébullition se situe entre 200°et 300° C. Pour s'enflammer, le kérosène doit être chauffé à une température supérieure à la température ambiante normale.

- **Carburant diesel** (diesel, carburant diesel, en anglais gas oil, diesel oil)
  Classe de danger cat. F3ℓ

  Le carburant diesel est issu de la distillation du pétrole à une température située entre 200 et 380°C. Sa composition peut fortement varier mais, comme c'est le cas pour le mazout, les composés à longue chaîne hydrocarbonée (de C7 à C14) dominent. Le carburant diesel se différencie de l'essence surtout par son domaine d'ébullition et son point éclair, qui sont plus élevés (>55°C). Sa solubilité dans l'eau est de l'ordre de 10 mg/l. Pour que le diesel s'enflamme à l'air libre, il faut d'abord en augmenter la température.

- **Huiles de chauffage / Mazouts** (en anglais fuel oil, domestic heating oil)
  Classe de danger cat. F3ℓ bis F4ℓ

  L'huile de chauffage (mazout) est un produit liquide ou facile à liquéfier tiré du pétrole, de l'huile de schiste ou du goudron, de différentes prove-

nances. Il sert surtout à produire de la chaleur. Selon sa fluidité, on distingue l'huile EL (extra-légère), l'huile M (moyennement liquide) et l'huile S (lourde). En Suisse, on utilise surtout l'huile de qualité EL, dont la composition est très semblable à celle du carburant diesel. L'huile de chauffage a, comme le diesel, un point éclair élevé (>55°C) et une solubilité dans l'eau d'environ 10 mg/l.
Pour s'enflammer à l'air libre, l'huile de chauffage doit être chauffée comme le carburant diesel.

Il existe encore deux autres huiles minérales, l'huile brute et l'huile lourde (huile de chauffage S), mais ces huiles sont rarement stockées. Leur densité se situe entre 900 et 970 kg/m³; le point éclair de l'huile brute oscille entre 23 et 55°C et celui de l'huile lourde est supérieur à 65°C. Ces deux huiles sont importantes dans la prévention des accidents majeurs, parce qu'elles peuvent occasionner un boil-over (voir point 3.4.2) en cas d'incendie de longue durée.

Les seuils quantitatifs pour ces produits, selon l'OFEFP [12] sont fixés comme suit:

Essence, kérosène	200'000	kg
Carburant diesel	500'000	kg
Huile EL, Huile S	500'000	kg
Huile brute	2'000	kg

Le tableau 2.2 ci-après récapitule les principales propriétés physico-chimiques des hydrocarbures. Il met bien en évidence les points communs, mais aussi les différences qui existent entre eux. Ils sont tous plus légers que l'eau, leurs températures d'inflammation se situent au-dessus de 200°C, et leurs pouvoirs calorifiques oscillent entre 40 et 44 MJ/kg. L'essence se distingue des autres hydrocarbures décrits par son point éclair bas. Elle peut déjà occasionner des vapeurs inflammables à une température de -20°C. En ce qui concerne le kérosène, le diesel et l'huile de chauffage, il faut en augmenter la température avant qu'ils puissent atteindre leur point éclair.

Tab. 2.2: Principales propriétés physico-chimiques des hydrocarbures [24, 25])

Propriétés n° de produit selon Hommel	**essence** 38/38a	**kérosène** 119	**diesel** 83	**huile EL** 103	**huile lourde** 120	**huile brute**[2)] 155/155a
Point éclair [°C]	- 20	30-40	> 55	> 55-80	> 65	20-55
Pouvoir calorifique [MJ/kg]	41.0-44.0[4)]	40.6-42.7[3)]	42.3-43.1[4)]	42.6[1)]	39.8[1)]	
Limite d'inflammabilité [vol.% vapeur]	0.6-8.0	0.6-6.5	0.6-6.5	0.6-6.5	1.5 - ?	
Pression de vapeur selon Reid à 40°C [kPa]	73.8[5)]	< 5	< 1	< 1	< 1	-
Température d'inflammation [°C]	220	220	env. 220[6)]	env. 220[6)]	210-220	
Densité à 15°C [kg/m³]	725-780	env. 800	815-855[1)] (à 15°C)	830-860	970	830-950

1) Selon DIN 51603, livre de poche 183, 1982
2) Valeurs variables suivant la provenance de l'huile brute [24]
3) Dubbel 1974
4) Kaufhold, Verbrennen und Löschen, 1991
5) Etude de l'EMPA: Durchschnittswert für schweiz. Benzin Bleifrei 95 (bei 37.8°C) (Wertebereich von 58.6 - 98.6 kPa)
6) Varie suivant la composition et le lieu de l'inflammation. Dans les locaux fermés, globalement plus chauds, la température d'inflammation se situe à env. 220 °C. A l'air libre, dans un système ouvert, on trouve des valeurs plus élevées, jusqu'à 320°C.

2.3.2 Propriétés écotoxiques des hydrocarbures

L'effet toxique des huiles minérales sur les êtres vivants dépend:

- du type d'organisme,
- de la sensibilité de l'espèce au produit ou à la substance en question,
- de la pollution déjà présente dans l'environnement de l'organisme concerné.

Pour cette raison, il y a de grandes différences entre les organismes. On ne peut donc pas fixer de valeurs applicables de manière générale. Pour estimer les dommages, on ne peut de ce fait fournir que des valeurs indicatives sous la forme de fourchettes.

Il s'agit fréquemment de données sur les concentrations auxquelles une partie bien définie des organismes ne parvient pas à survivre pendant un laps de temps donné (p. ex. la valeur LL_{50} représente la concentration à laquelle 50% des organismes qui y sont exposés en général pendant 96 h ne survivent pas. La valeur EL_{50} est la valeur pour laquelle survient 50% d'un effet donné).

Ces valeurs indicatives sont basées sur un certain nombre de tests standard, auxquels on a par exemple recours pour déterminer la toxicité aiguë pour les bactéries ou la toxicité aiguë pour les poissons.

Pour calculer une surface d'eau polluée, on peut avoir recours aux critères d'appréciation selon [1]. D'après ces critères, une surface d'eau est considérée comme polluée lorsqu'elle contient plus de 15 g d'huiles minérales par m²[B]. On peut ainsi, lorsqu'on connaît la quantité du produit, évaluer l'importance de la pollution et, par conséquent, l'ampleur des dommages selon [1].

Pour les eaux souterraines et pour l'eau potable, il existe des valeurs limites qui sont fixées dans l'ordonnance sur les denrées alimentaires (ODAI). Ces valeurs se rapportent à la concentration en hydrocarbures. Le critère principal est donné par la solubilité des substances, ce qui permet d'appliquer la valeur limite indiquée dans l'ordonnance sur les denrées alimentaires (soit 20 µg/l ou 20 mg/m³) à toutes les huiles minérales, celles-ci étant en général difficilement solubles dans l'eau.

S'agissant des atteintes portées au sol [7, 29, 30], l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol) définit des valeurs indicatives, des seuils d'investigation et des valeurs d'assainissement pour les substances inorganiques et pour certaines substances organiques, mais on n'y trouve pas de valeurs analogues pour les huiles minérales. De plus, la gravité des atteintes portées au sol (n_5) dépend principalement de paramètres locaux tels que la topographie, l'usage agricole, la composition et les propriétés physiques du sous-sol, ainsi que les conditions météorologiques qui règnent au moment de l'événement (notamment température et gel). Vu le grand nombre de ces facteurs, une prévision générale de l'étendue d'une pollution du sol est très difficile. La propagation de la pollution sur une surface de plus de 2 ha, nécessaire pour un indice d'accident de 0,3, peut être pratiquement exclue. Etant donné que la plupart des accidents majeurs n'entraînent habituellement qu'une pollution locale et limitée dans le temps, et que les dommages qui en résultent pour les eaux superficielles ou souterraines sont en général couverts par d'autres indicateurs, on ne tient pas davantage compte des atteintes portées au sol pour estimer les dommages potentiels.

[B] Selon la loi, les cantons peuvent fixer des objectifs de protection et donc des valeurs limites s'écartant de celles de l'OFEFP [1]. Les propriétaires d'installations sont tenus d'appliquer la valeur limite en vigueur dans le canton considéré.

Tab. 2.3: Valeurs toxicologiques des huiles minérales considérées [38, 39]

Huile minérale	Solubilité dans l'eau [mg / l]	Symbole de danger	Toxicité pour les daphnies [EL_{50}(mg/l)]**	Toxicité pour les poissons [LL_{50}(mg/l)]**
Sans plomb 95 / Sans pb 98 (Gasolines, low boiling point naphtas)	env. 120	F+*, T* ou Xn*, N	1 – 10 ***	1 – 10 ***
Kérosène (Kerosines, straight-run gas oils)	5 - 40	Xn, N	0,4 – 4 ***	1 – 10 ***
Carb. diesel / huile de chauffage EL (Other gas oils, distillate fuel oils)	env. 10	Xn, N	6 – 210	21 – 230
huile de chauffage S (Heavy fuel oil components)	1,5 - 12	T	10 – 100 ***	10 – 100 ***
Huile brute (Crude oil)		T, (év. aussi F+ ou F) *	17 ***	34 ***

* Classifications selon propriétés spéciales des produits, voir [39]

** EL = «effective loading» et LL = «lethal loading»: valeurs de mesure s'écartant des valeurs LC_{50} resp. EC_{50} usuelles en raison de la méthode de mesure (voir [38], p.10)

*** Valeurs toxicologiques estimées sur la base des composantes usuelles de l'huile minérale correspondante (voir [38], p. 10s)

2.3.3 Propriétés des produits d'extinction

On peut distinguer les produits d'extinction usuels pour les hydrocarbures en fonction de leur composition chimique. Ils se répartissent en deux groupes principaux: les mousses à base de protéines et les mousses synthétiques à base d'alcool gras (les tensides).

A part la matière de base (protéines ou tensides), les produits d'extinction contiennent - selon le produit et sa destination - une quantité variable de sels métalliques, de produits désinfectants, d'antigel, de produits contre la corrosion ainsi que des solvants. En cas de diffusion du produit dans l'environnement, ces substances peuvent évidemment porter atteinte aux organismes.

Pour connaître l'effet des produits d'extinction sur les organismes, on peut se servir des tests de toxicité. Compte tenu des nombreuses méthodes de test et des différents types d'organismes utilisés pour les tests, l'éventail des valeurs limites obtenues est assez large (exemple, selon les indications du fabricant: pour les poissons, la valeur LC_{50} se situe entre 100 et 3000 mg de produit d'extinction par litre d'eau pendant 96 h). On peut néanmoins admettre qu'en général, les hydrocarbures sont plus toxiques que les produits d'extinction solubles dans l'eau.

C'est la raison pour laquelle l'estimation des dommages potentiels ne tient pas davantage compte des atteintes à l'environnement dues aux émissions de produits d'extinction.

2.3.4 Conséquences sur l'estimation des dommages

- Pour déterminer l'impact d'un incendie (rayonnement de chaleur), il n'est pas nécessaire de faire la distinction entre les différentes huiles minérales.
- Le scénario «explosion» joue un rôle seulement dans le cas de l'essence.
- En ce qui concerne le scénario «fuite d'hydrocarbures», ce sont soit les valeurs LC_{50} (spécifiques au produit) établies pour les poissons (volume pollué), soit la valeur limite pour les eaux

superficielles polluées, c'est-à-dire 15 g d'hydrocarbures par m², qui sont déterminantes dans l'estimation des atteintes subies par les eaux superficielles.

- Dans le cas d'une pollution d'eau potable, on peut appliquer la valeur limite pour les hydrocarbures tirée de l'ODAI. Cette norme est la même pour toutes les huiles minérales, soit 20 mg/m³.
- Les pollutions du sol ainsi que les dégâts entraînés par les émissions de produits d'extinction ne sont pas pris en compte dans l'estimation.

2.4 Critères d'appréciation

Les effets potentiels d'un accident majeur, compte tenu des conventions ci-dessus, sont expliqués au prochain chapitre. Avant d'estimer l'ampleur d'un accident majeur, il convient d'abord d'examiner les indicateurs de dommages tels qu'ils sont définis dans les directives de l'OFEFP [1].

Selon celles-ci, on dispose de six indicateurs permettant de représenter l'ampleur des dommages que pourraient subir la population et l'environnement. En fonction du type de dommages, on appliquera un ou plusieurs indicateurs (voir fig. 8.1). Un indice d'accident majeur est attribué à chaque indicateur. Ces indices sont comparables entre eux. On trouvera au tableau 2.4, pour chaque indicateur, l'ampleur des dommages qui correspondent à l'indice 0,3, c'est-à-dire à l'indice faisant foi pour les installations de stockage (annexe 3). Cet indice, qui sert à caractériser des dommages graves, a été fixé individuellement pour chaque indicateur.
Les accidents majeurs suivis d'un incendie avec rayonnement de chaleur portent surtout atteinte aux personnes. Pour déterminer l'ampleur des dommages, on fait généralement la différence entre le nombre de décès (indicateur n_1) et le nombre de blessés (indicateur n_2). A titre de simplification, le présent rapport ne tient pas compte de l'indicateur n_2 (blessés). Le rayonnement de chaleur provoque en général peu de dommages hors de l'installation. De ce fait, l'indicateur n_6 applicable aux dégâts matériels n'est pas déterminant pour les scénarios «incendie».

Les accidents majeurs dus à une fuite d'hydrocarbures touchent surtout les eaux. Pour décrire l'impact d'un tel accident, on aura recours aux indicateurs n_3 (eaux superficielles) et n_4 (eaux souterraines). L'indicateur n_5 s'applique aux effets sur le sol. Dans le cas des installations de stockage, cet indicateur n'a en général pas d'importance (voir chiffre 2.3.2).

Tab. 2.4: Ampleur d'un dommage grave, selon les directives de l'OFEFP [1]

Indicateur		Ampleur des dommages correspondant à l'indice 0,3	
Nombre de décès	n_1	De l'ordre de 10 décès	
Nombre de blessés	n_2	De l'ordre de 100 blessés	
Eaux superficielles polluées	n_3	Pollution par des substances, des produits ou des déchets spéciaux d'env. 10^6 m^3 ou 1 km^2	1)
Eaux souterraines polluées	n_4	Mise hors service d'un captage d'eaux souterraines correspondant à environ 10'000 mois-personnes	2)
(Sol) non déterminant	(n_5)	(Atteintes à la fertilité du sol sur une surface d'env. 2 ha par des substances, des produits ou des déchets spéciaux pendant une année)	
Dégâts matériels	n_6	Dégâts matériels d'une valeur d'environ 50 millions de fr.	3)

1) Dans des cas dûment fondés, on peut avoir recours à des échelles plus sévères

2) S'applique aussi aux eaux souterraines recensées mais non exploitées

3) Indice 1996

Quant à l'indicateur n_6, il sert à estimer les dégâts matériels. En ce qui concerne les installations de stockage, cet indicateur n'est applicable que dans des cas spéciaux (surtout les explosions et le rayonnement de chaleur). Ce type d'accident est traité au chapitre 7.3.

Les critères d'appréciation selon les directives de l'OFEFP ne comportent aucun indicateur permettant d'évaluer la pollution de l'air. Dans le cas d'un incendie d'huiles minérales dans une installation avec formation de suie et pollution de l'air, on peut estimer une mise en danger indirecte des personnes ou des installations à l'aide des indicateurs n_1 et n_6.

L'exploitation quotidienne d'une installation est soumise à des dispositions légales spécifiques autres que celles de l'OPAM.

3 Description des scénarios

3.1 Conditions de validité des scénarios

L'observation des mesures générales de sécurité selon l'art. 3 OPAM, récapitulées à l'annexe 5, constitue la condition préliminaire à la validité des scénarios déterminants tels que définis dans le présent rapport. Ces mesures de sécurité se caractérisent par le fait qu'elles sont, d'une part des mesures actives visant à limiter l'ampleur des dommages en cas d'accident majeur et, d'autre part, des mesures passives destinées à réduire le danger potentiel et à prévenir les accidents majeurs. Concrètement, il s'agit des mesures décrites à la fig. 3.1.

A Le contrôle de la paroi du bassin de rétention doit permettre de s'assurer qu'en cas de fuite d'hydrocarbures d'une citerne, le bassin supporte la pression du liquide ou tout autre effet pris en compte lors du calcul statique. En procédant ainsi, on peut exclure une défaillance simultanée d'une citerne et de son bassin de rétention.

B Lors de la conception du système de canalisations, il convient de prendre toutes les dispositions nécessaires, dans le cas du scénario «fuite d'hydrocarbures», pour éviter si possible que la fuite ait des conséquences pour le voisinage de l'installation. Il s'agit surtout de faire concorder les volumes de rétention dans l'installation avec les scénarios calculés.

C Cette manière de procéder (détourner et / ou retenir le produit libéré de manière intempestive) est une mesure de précaution visant à éviter qu'un accident majeur ne s'aggrave encore et n'entraîne des dommages hors du site. Pour le cas «fuite d'hydrocarbures», les bassins reliés les uns aux autres doivent avoir un volume de réserve, ce qui permettra d'évacuer les produits de la zone dangereuse et d'empêcher qu'un bassin ne déborde.

D Les dispositions de la directive CARBURA relatives à la protection contre l'incendie servent en premier lieu à empêcher l'extension d'un incendie et donc à éviter que d'autres dommages se produisent dans l'installation et hors du site de l'entreprise. Cette directive précise également la manière de calculer les quantités d'eau et de produits d'extinction nécessaires.

E En présence d'un accident majeur, il est extrêmement important de déceler celui-ci rapidement et d'agir efficacement en vue d'empêcher son extension. Dans ce but, une collaboration étroite est indispensable entre l'exploitant de l'installation et les services compétents, mais aussi entre les différents services d'intervention. Un élément capital de cette collaboration consiste à organiser régulièrement des exercices sur le site même et à en évaluer les résultats, tout en prenant en compte les conditions locales.

Les accidents majeurs dans les installations de stockage sont en général des processus lents. On peut ainsi admettre qu'après quelques heures au plus tard, les mesures prises (et répétées si nécessaire) ont atteint leur but, que l'événement est sous contrôle et qu'on peut exclure d'autres dommages hors du site ou une mise en danger des habitants du voisinage. On n'a donc pas à craindre que les événements d'un scénario puissent s'étendre de manière anarchique, atteindre l'ensemble de l'installation et finir par porter atteinte au voisinage. Par conséquent, le facteur «temps» est la donnée fondamentale pour définir les scénarios déterminants dans l'estimation des dommages potentiels.

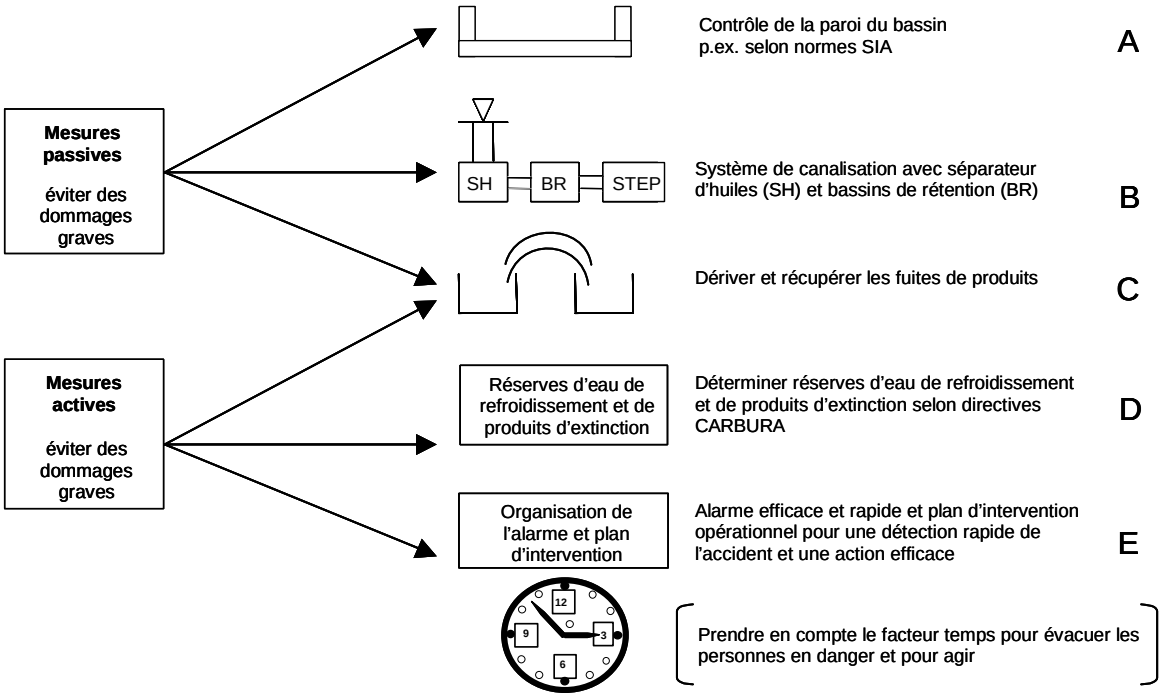


Fig. 3.1: Conditions préalables garantissant l'exactitude des scénarios déterminants

3.2 Arbre des scénarios

Le chapitre consacré aux éléments de base (chap. 2) est suivi de l'arbre des événements (fig. 3.2), qui représente graphiquement le déroulement des événements dans les installations de stockage d'hydrocarbures. Cet arbre sert de base aux instructions relatives à l'estimation des dommages potentiels.

Il présente les trois scénarios principaux: en rouge l'incendie, en bleu la fuite d'hydrocarbures, en jaune l'explosion. Pour la clarté de ce tableau, chaque événement porte un numéro, et les numéros des événements déterminants sont en outre encadrés de la même couleur.

3.3 Evénements déterminants

3.3.1 Eléments de base

Les accidents majeurs potentiels se répartissent en trois scénarios principaux, en fonction de leurs effets. Dans le scénario «**incendie**», le rayonnement de chaleur qui émane d'un incendie peut porter atteinte aussi bien à l'homme qu'aux installations et aux infrastructures, cela dans un large rayon. En ce qui concerne le scénario «**fuite d'hydrocarbures**», ceux-ci se répandent sur le site ou dans le voisinage. Dans ce cas, ce sont les eaux situées à proximité (eaux superficielles et eaux souterraines) ainsi qu'éventuellement le sol qui sont menacés de pollution. Quant au scénario «**explosion**», le danger prend la forme d'ondes de choc pouvant provoquer des dégâts aux équipements et aux infrastructures environnantes. Ces trois scénarios principaux englobent divers scénarios secondaires. Dans le rapport succinct, le scénario secondaire qui est censé comporter le plus grand potentiel de dangers est défini comme étant l'événement déterminant. Il existe encore d'autres scénarios secondaires, considérés comme des cas spéciaux; ceux-ci peuvent être importants dans le cas d'installations où la situation est particulière (p. ex. zone urbanisée à population élevée).

Nous décrivons ci-après les trois scénarios principaux avec leurs événements déterminants, puis les cas spéciaux.

3.3.2 Scénario principal «incendie»

Incendie d'un bassin de rétention (no 10)
A la suite de l'inflammation d'hydrocarbures qui s'échappent d'une citerne ou de l'incendie d'une citerne, le bassin de rétention peut prendre feu. C'est surtout le rayonnement de chaleur émis par la flamme qui est dangereux, car, selon les dimensions du bassin, il peut porter atteinte aux personnes dans un rayon de 100 m.

Un incendie met plusieurs heures pour se propager aux citernes et aux bassins voisins, car les citernes doivent au préalable se réchauffer avant de perdre leur résistance et de laisser s'échapper des hydrocarbures qui prendront feu à leur tour. La propagation de l'incendie d'un bassin aux citernes ou aux bassins voisins suppose l'échec (répété) des mesures de lutte contre l'incendie et de protection des citernes environnantes. Lorsqu'un incendie prend une telle ampleur, il se produit un très fort rayonnement de chaleur. Comme les rayons de létalité croissent de manière proportionnellement inférieure à l'extension de la surface incendiée, il est rare - par rapport à l'incendie d'un seul bassin - que l'ampleur des dommages s'accroisse (p. ex. en cas de zone urbanisée très proche). Par conséquent, pour estimer les dommages, on ne tiendra généralement compte que de l'incendie du plus grand bassin de l'installation de stockage. Exceptionnellement, c'est l'incendie du bassin le plus proche des ouvrages en danger qui sera déterminant.

3.3.3 Scénario principal «fuite d'hydrocarbures»

Infiltration d'hydrocarbures dans les canalisations publiques (no 21)
L'événement ne joue un rôle dans l'estimation des dommages que s'il existe un raccordement avec une canalisation publique ou avec des eaux superficielles ou souterraines. Suite à une fausse manipulation - pendant la purge d'un bassin, pendant une opération de transvasement ou encore après le débordement d'un bassin - des hydrocarbures ou un mélange hydrocarbures/produits d'extinction peuvent s'échapper et s'infiltrer dans les canalisations publiques par des voies indirectes, comme des puits ou des surfaces imperméables. Selon le type de canalisation, le produit qui se répand peut s'infiltrer dans une eau située à proximité (eaux superficielles, eaux souterraines, qu'elles servent ou non au captage d'eau potable) ou atteindre et polluer la STEP. En fait, l'ampleur des dommages entraînés par un tel événement dépendra surtout des mesures de sécurité prises préventivement. Celles-ci, p.ex. l'aménagement de puits de rétention dans les canalisations ou des aménagements au niveau de la construction des installations, le fait de déceler rapidement un accident avec fuite d'hydrocarbures, ainsi qu'une intervention efficace permettront de retenir les produits sur le site et, ainsi d'éviter dans la mesure du possible, un cas de pollution au voisinage de l'installation.

Ecoulement d'hydrocarbures en surface (no 22)
Le ruissellement d'hydrocarbures en surface ne joue un rôle que s'il y a une eau à proximité de l'installation et, par conséquent, un risque de pollution. L'ampleur des dommages dépend à la fois des conditions locales (topographie, imperméabilisation des surfaces) et des mesures de sécurité prises (talus autour du site, écoulement dans des puits de rétention). Un écoulement en surface étant un événement visible, il est plus facile de déceler le dommage sur la citerne et d'agir ainsi rapidement.

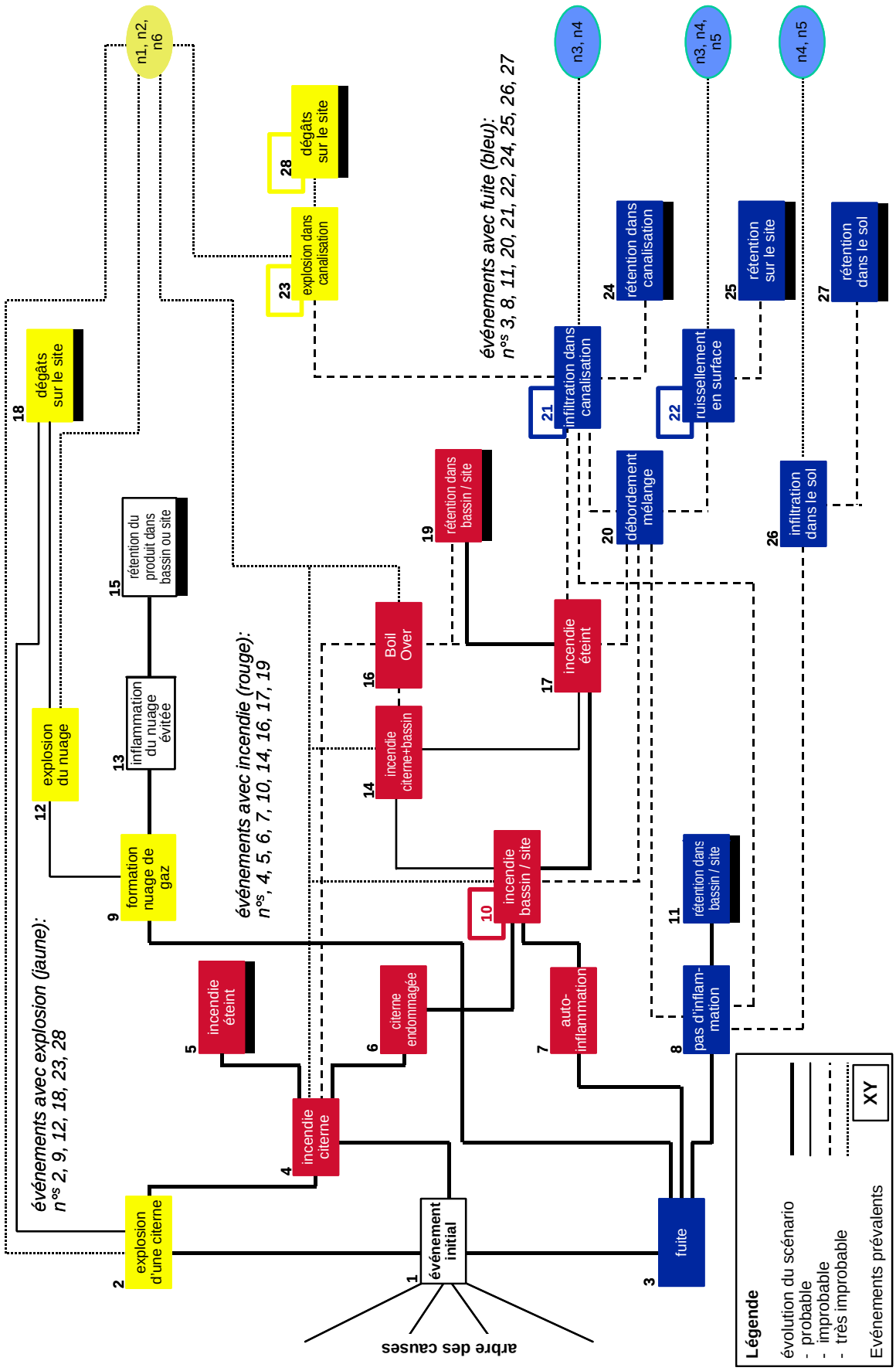
3.3.4 Scénario principal «explosion»

Explosion dans une canalisation publique (no 23)
Lorsque l'installation est proche d'infrastructures importantes ou que la canalisation est située dans une zone fortement urbanisée, une explosion dans une canalisation peut entraîner des dommages graves.

Le point éclair de l'essence étant bas, c'est elle surtout qui forme un mélange explosible gaz/air dans les canalisations publiques ou dans des espaces creux fermés, comme les galeries des conduites. Lorsque ce mélange gaz/air s'enflamme, par exemple à cause d'une étincelle électrique, une explosion dans une canalisation peut occasionner une très forte déflagration dans le voisinage. Selon l'emplacement de la canalisation touchée, notamment dans les zones très construites ou fortement exploitées, les dégâts peuvent être considérables. Des personnes peuvent être mises en péril par les débris (p. ex. couvercles de regards projetés violemment au loin). C'est dans de tels cas que le scénario «explosion» est important.

En revanche, une explosion dans une canalisation n’est pas possible dans le cas des installations qui ne stockent pas d’essence ou qui ne disposent pas de raccordements à une canalisation publique.

Figure 3.2: Arbre des scénarios des installations de stockage



3.4 Cas spéciaux

3.4.1 Explosion d'un nuage de gaz (no 12)

Explosion à l'air libre: La pulvérisation d'hydrocarbures (essence) qui s'échappent d'une conduite (formation d'aérosols) ou l'évaporation d'une nappe d'hydrocarbures peuvent former un nuage de gaz. La dimension de ce nuage dépend entre autres de la force de sa source, de la grandeur de la nappe et de sa vitesse d'évaporation. Le nuage de gaz étant plus lourd que l'air, il peut flotter au niveau du sol et, suivant les conditions atmosphériques, s'infiltrer dans une canalisation publique ou s'étendre au-delà du site de l'entreprise. En cas d'inflammation d'un nuage de gaz d'essence non confiné[C] ou d'une inflammation peu après la fuite d'essence, il se produit un bref incendie (flash fire), mais pas d'explosion. Un retour de flamme peut mettre le feu à la nappe qui se trouve à proximité de l'endroit d'où le liquide s'échappe.

Les citernes voisines peuvent former une sorte de confinement qui, à son tour, favorise le mélange du gaz avec l'air ambiant par le fait de turbulences. Si un mélange gazeux essence-air s'enflammait seulement au bout de quelques minutes dans ces conditions, les vitesses de combustion seraient beaucoup plus élevées, de même que, par voie de conséquence, les surpressions. L'explosion se propagerait dans l'atmosphère avec une onde de choc très rapide. Comme l'ont démontré des calculs effectués après des explosions, un nuage de gaz confiné présente des surpressions initiales situées entre 0,3 et 0,42 bar au maximum [20]. Les personnes ou les infrastructures proches de l'installation sont ainsi en danger. Pour qu'un tel événement se produise comme décrit ci-dessus, la fuite d'hydrocarbures doit être importante (p. ex. durer depuis longtemps). Ce scénario devra donc être pris en compte dans les situations où on ne peut pas, a priori, exclure le risque de dégâts à des infrastructures importantes ou une mise en danger d'un grand nombre de personnes dans un rayon d'une centaine de mètres autour de l'installation.

Explosion dans un local de pompes fermé: A cause du manque d'étanchéité de certaines parties de l'installation de pompes, des vapeurs d'essence peuvent se former; en cas d'inflammation, elles risquent de provoquer l'explosion d'un nuage de gaz confiné. La surpression maximale dans le bâtiment fermé peut brièvement avoisiner 7 bar [6, 18]. Suivant l'emplacement du bâtiment des pompes, les dégâts peuvent être importants sur le site. Des dommages sont peu probables hors du site, à moins que le local des pompes ne se trouve, par exemple, en bordure de l'installation et non loin d'une zone habitée.

3.4.2 Boil over (no 16)

Ce scénario intervient en particulier dans le cas d'hydrocarbures bruts, d'huile lourde, de mazout et éventuellement de carburant diesel; il est exclu que l'essence et le kérosène provoquent un boil over. Le boil over est un phénomène où de grandes quantités d'huile, moussantes et en feu, sont projetées avec vigueur hors d'une citerne. Ce phénomène est dû à une longue période de réchauffement préalable de l'huile concernée, ce qui provoque, après un certain temps, l'évaporation spontanée de la couche d'eau dans le fond de la citerne. Selon la théorie classique, l'incendie de la citerne elle-même est à l'origine de l'échauffement de son contenu et du boil over qui en résulte. Vu que la littérature sur le sujet évoque aussi un événement ayant d'autres causes - avec néanmoins un impact similaire à celui du boil over - (Lyon: échauffement du contenu d'une citerne à cause d'un bac en feu), il y a lieu d'introduire ici une distinction: ci-après, nous traitons séparément le «boil over classique» et «l'événement à effet de boil over» (pour la définition du «boil over», voir aussi [9, 22, 26]).

A) Boil over classique avec formation de zones de chaleur lors de l'incendie d'une citerne
Le boil over classique avec formation de zones de chaleur est un phénomène qui ne se produit que lors de l'incendie d'huiles minérales à domaine d'ébullition étendu (huiles minérales brutes, huile lourde, mazout). Pour qu'il puisse se produire, le fond de la citerne doit être recouvert d'eau (fond

[C] Au-dessous du point éclair de n'importe quel carburant, ni son inflammation, ni sa combustion ne sont possibles. Le point éclair du carburant diesel et de l'huile de chauffage est supérieur à 55°C. Une telle température ne peut être atteinte que par un long chauffage du liquide par un élément extérieur. A température ambiante, seule l'essence constitue un grand danger en raison de son point éclair très bas (-20°C) et de sa grande volatilité. Si aucune substance très inflammable n'est stockée sur le périmètre de l'installation, on peut négliger le cas spécial «explosion d'un nuage de gaz» provenant de carburant diesel ou d'huile de chauffage car il est beaucoup plus invraisemblable que celui lié à l'essence.

d'eau), qu'il s'agisse d'eau de condensation ou d'eau introduite pendant la lutte contre l'incendie. L'incendie de la citerne provoque un front de chaleur dans le produit en flammes et entraîne à la surface la distillation d'une fraction du produit. Les composants volatils s'évaporent et prennent feu, alors que les composants peu volatils s'accumulent à la surface échauffée, suite à l'évaporation persistante, à la limite entre les résidus brûlants et l'huile froide; les composants à bas point d'ébullition restant en arrière, ils accroissent la zone de chaleur, donc la dilatent. Dès que cette zone de chaleur atteint le fond d'eau, l'eau commence à s'évaporer ce qui provoque la projection de grandes quantités d'huiles moussantes et en feu.

Mesures
Dans le cas du boil over classique, il s'agit avant tout d'éviter l'extension des dommages une fois que s'est déclaré l'incendie d'une citerne. Il est facile d'observer la progression du front de chaleur sur la citerne; vu que l'expulsion des hydrocarbures ne se produit qu'après plusieurs heures, il faut mettre ce temps à profit pour évacuer toutes les personnes se trouvant à proximité de la zone dangereuse.

B) Evénement à effet de boil over après l'incendie d'un bassin
Un événement à effet de boil over peut aussi apparaître avec des produits à domaine d'ébullition assez étroit, comme le diesel et l'huile de chauffage EL. Ces produits ne forment pas de grandes zones de chaleur. L'origine d'un tel événement réside donc dans l'échauffement d'une citerne par un flux de chaleur extérieur, c'est-à-dire par l'incendie d'un bassin. En cas de feu persistant dans un bassin, la paroi des citernes qui s'y trouvent est fortement chauffée, à moins qu'on ne la refroidisse suffisamment. Le fond d'eau de la citerne chauffe principalement sous l'effet du flux de chaleur provenant de la paroi. Plus le diamètre de la citerne est petit, plus le flux de chaleur à travers la paroi est grand, et plus son impact sera fort. Pour que le phénomène se déroule comme décrit ci-devant, il faut que le niveau du produit dans la citerne soit bas, ce qui augmente le contact thermique entre la flamme et la paroi de la citerne. La quantité maximale d'hydrocarbures qui peut être projetée au dehors est de ce fait plus faible que dans le cas du boil over classique.

Mesures
Le phénomène étant provoqué par un flux extérieur de chaleur, le premier objectif de la lutte sera d'interrompre cet apport de chaleur en concentrant l'extinction sur l'incendie du bassin. Dans la mesure du possible, il conviendra de refroidir les citernes avoisinantes. Ce qui est important pendant cette opération, c'est d'éviter à tout prix que de l'eau parvienne à l'intérieur de la citerne échauffée.

3.5 Autres scénarios

Les autres événements présentés dans l'arbre des scénarios n'entrent pas de manière significative dans l'estimation des dommages. Ils seront tout au plus examinés dans des cas exceptionnels, dans le cadre d'une étude de risques. Ces autres événements sont les suivants:

3.5.1 Explosion d'une citerne (no 2)

Une explosion peut se produire en cas d'inflammation d'un volume de gaz confiné dans une citerne, par exemple pendant une révision ou en cas de surchauffe d'une citerne presque vide. Dans la plupart des cas, il s'agit d'explosions chimiques, où le mélange réactif de gaz se dilate rapidement en perdant de la chaleur. A la suite d'une telle explosion, il arrive souvent que le toit de la citerne soit projeté au loin et que le produit stocké s'enflamme, entraînant l'incendie de la citerne (no 4, ci-après). L'impact de l'explosion ne s'étendant en général pas au-delà du site de l'entreprise, il est à considérer comme insignifiant pour l'estimation des dommages potentiels.

L'explosion du réservoir d'un système de récupération des vapeurs d'essence est une possibilité à considérer. La récupération des vapeurs d'essence dans les installations de stockage permet de collecter aussi bien les excédents de vapeurs produites du fait de variations journalières et saisonnières de température que les vapeurs refoulées pendant le transvasement d'essence. Ces vapeurs - il s'agit en général de mélanges saturés - sont tout d'abord stockées dans un

grand réservoir tampon, et les vapeurs excédentaires, reliquéfiées. Par suite d'une surchauffe, ce réservoir peut exploser; les débris projetés au loin peuvent endommager les équipements voisins. Néanmoins, on peut s'attendre à ce que les dommages hors du site de l'entreprise ne soient pas importants.

3.5.2 Incendie d'une citerne (no 4)

Si une citerne est endommagée et que le produit entreposé s'enflamme, elle peut prendre feu. Les dégâts dus au flux de chaleur se limitent à l'environnement immédiat de la citerne; ils sont en tout cas plus faibles que ceux qui sont provoqués par l'incendie du bassin. Les risques pour les personnes ne dépassent pas un rayon de 100 m. Comme l'incendie d'une citerne dure assez longtemps (le flux de chaleur se développe lentement), il est possible de quitter la zone dangereuse avant qu'il ne soit trop tard. En intervenant efficacement et en utilisant suffisamment de produits d'extinction et d'eau de refroidissement, les pompiers parviennent à éteindre l'incendie avant que d'autres événements ne se produisent (surtout l'incendie du bassin). Comme l'incendie d'une citerne, sans événement ultérieur, entraîne des suites beaucoup moins graves que ne l'est l'incendie du bassin de rétention, ce type de scénario n'est pas important pour établir les dommages potentiels.

3.5.3 Incendie d'une citerne et du bassin (no 14)

L'incendie conjoint de la citerne et du bassin est une combinaison de deux événements. Les dommages résident surtout dans les risques que le flux de chaleur présente pour les personnes. Vu qu'une citerne en feu dans un bassin en feu entraîne à peine plus de dommages que le bassin seul, cette combinaison n'est pas examiné de plus près. Dans un tel cas, l'événement déterminant est l'incendie du bassin.

3.5.4 Infiltration dans le sol (no 26)

Un bassin qui n'est pas étanche ou une fuite de produit qui se répand dans un sol perméable situé en dehors de l'installation peuvent être à l'origine d'une pollution du sol ou d'eaux souterraines. Dans le premier cas, les quantités de produit pouvant s'infiltrer dans le sol sont généralement minimes et le produit se répand plus ou moins rapidement suivant la composition du sol. En ce qui concerne l'infiltration dans un sol perméable où il n'y a pas d'eaux souterraines à proximité - ce qui est d'ailleurs souvent le cas pour les installations de stockage - on peut admettre que le produit se répand si lentement qu'il n'y a pour ainsi dire pas de risques qu'une nappe souterraine éloignée soit polluée. Il est donc peu probable que l'infiltration de produit dans le sol en dehors d'une installation provoque une grave pollution d'une nappe souterraine ou du sol. De plus, les risques de pollution de nappes souterraines sont déjà pris en compte dans le scénario «fuite d'hydrocarbures». Si les mesures de sécurité permettent de déceler rapidement un défaut d'étanchéité et d'y remédier sans délai, et si la construction du bassin a été vérifiée quant à son adéquation, ce scénario n'est pas déterminant dans l'estimation les dommages. Dès lors, l'événement «infiltration dans le sol» peut être considéré comme négligeable.

4 Ampleur des dommages dans le scénario «incendie d'un bassin»

4.1 Evénement déterminant

Selon l'arbre des scénarios, un bassin prend feu:

- quand un produit s'enflamme dans la citerne et que cela rend celle-ci défectueuse si bien que le produit s'échappe dans le bassin (ordre des événements: n° 2-4-6-10), ou
- quand des hydrocarbures s'échappent d'une citerne endommagée puis s'enflamment dans le bassin (ordre des événements: n° 3-7-10).

C'est le rayonnement de chaleur du bassin en feu qui est déterminant. Pour ce scénario, on admet que des hydrocarbures en flammes recouvrent toute la surface du bassin (sauf celle couverte par le fond de la citerne). Le volume de la fuite ne joue un rôle que si le bassin est muni en plus de murs de séparation (bas), capables d'empêcher que les hydrocarbures issus de la fuite puissent se répandre sur toute la surface du bassin; ce qui est déterminant, c'est toujours le volume utile de la plus grande citerne d'un bassin. Quant au bassin déterminant, il est défini par sa surface et par sa distance aux personnes pouvant être mises en danger. Selon le type d'installation, on établira plusieurs calculs pour plusieurs bassins. L'incendie d'un bassin est important lorsque, dans un périmètre de 150 m se trouvent des personnes n'appartenant pas à l'entreprise (p. ex. habitants du voisinage, participants à une manifestation, personnes exerçant une activité sportive ou se trouvant sur les voies de communication, etc.).

4.2 Calcul du rayonnement de chaleur

Le modèle de la flamme à radiation cylindrique [5, 10, 15] permet de calculer le rayonnement de chaleur à une distance donnée du coeur de l'incendie ou du bord du bassin en flammes. Pour cette opération, la surface du bassin est représentée par un cercle de même surface. Pour les calculs, on prend en considération la surface du bassin et l'énergie de rayonnement par unité de surface (densité du rayonnement) du produit considéré [13]. Dans la plupart des incendies de bassin, la suie forme un écran qui retient jusqu'à 50% des flammes. Pour toutes les huiles minérales évoquées dans ce rapport, on peut admettre sans risques d'erreur excessifs une énergie de rayonnement uniforme de 84 kW/m^2; cette simplification ne nécessite pas, pour calculer le rayon d'impact de l'événement, de distinguer les produits en flammes en fonction de leur nature (voir fig. 4.1).

4.3 Estimation des effets

L'indicateur n_1 (décès) est déterminant pour l'estimation des dommages, puisque les blessés ne sont pas pris en considération au niveau du rapport succinct. En général, l'indicateur n_6 (dégâts matériels) doit lui aussi être ignoré dans le cas du rayonnement de chaleur. Pour les forces d'intervention, une valeur supplémentaire est néanmoins importante, le seuil de douleur, c'est-à-dire la distance à laquelle le rayonnement de chaleur est encore de 5 kW/m² et où l'homme ressent des douleurs après 10 à 20 secondes [3]. Cette valeur sert de repère pour déterminer le rayon à l'intérieur duquel l'homme peut subir les atteintes dues à un bassin en flammes.

Dans le cas de l'incendie d'une nappe, le rayonnement de chaleur reste assez longtemps constant. Pour le calcul, on admettra que toutes les personnes se trouvent dehors (sans protection par les bâtiments), mais qu'elles ne peuvent être atteintes que pendant les 30 premières secondes car, à ce moment au plus tard, elles auront pu fuir. Compte tenu de ces considérations, le rayon létal pour l'homme se présente ainsi [17]:

létalité 1%	15 kW/m^2
létalité 50%	24 kW/m^2
létalité 99%	57 kW/m^2

Les effets du rayonnement de chaleur sur l'homme, tels qu'ils sont calculés dans le présent rapport, ont pour base deux éléments: la létalité constatée dans le cas d'explosions nucléaires [17] et l'évaluation d'exemples d'accidents dus à des incendies

d'hydrocarbures [11]. Le présent modèle, fondé sur la fonction Probit selon Eisenberg [17] avec un temps d'exposition de 30 secondes et les trois rayons à létalité constante (R_1 pour létalité 1%, R_{50} pour létalité 50%, R_{99} pour létalité 99%), s'est révélé être une bonne approximation pour estimer les dommages.

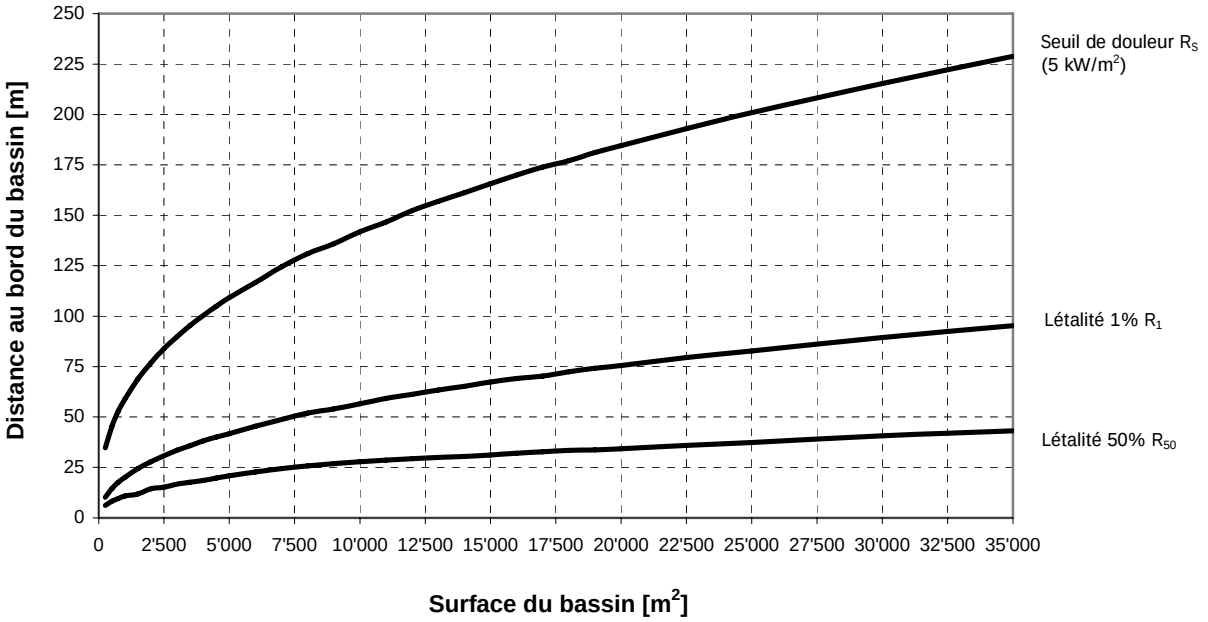


Fig. 4.1: Rayons de létalité R_1, R_{50} et seuil de douleur R_S calculés depuis le bord du bassin (approximation pour l'essence, le kérosène, le carburant diesel et l'huile de chauffage) en fonction de la surface du bassin considéré

La figure 4.1 représente les rayons de létalité en fonction de la grandeur du bassin; le rayon de létalité 99% étant toujours inférieur à 20 m pour les surfaces considérées, il n'y apparaît pas.

Il s'agit ensuite de reporter ces rayons sur le voisinage de chaque bassin considéré, puis d'estimer le nombre de personnes touchées (à l'aide d'une visite des lieux, d'un plan de zone ou, dans le cas d'immeubles d'habitation, en s'adressant au contrôle des habitants des communes). Avec ces indications, on peut calculer l'ampleur des dommages pour l'incendie d'un bassin (voir l'exemple 1).

Des modèles détaillés ont été développés pour les cas où l'on désire pousser plus à fond les investigations, par exemple pour une étude de risque. A cet effet, on trouvera dans le Green Book de TNO [19] des formules qui ont été développées tout spécialement pour les incendies d'hydrocarbures et qui décrivent en détail les effets du rayonnement sur l'homme, compte tenu des vêtements qu'il porte et de ses possibilités de s'échapper. Ces calculs sont exclusivement mathématiques; comme il convient - avant de pouvoir les effectuer - d'acquérir les données nécessaires et comme on ne sait malheureusement pas quelles sont ces données, les calculs sont beaucoup plus onéreux que ne l'est la méthode proposée pour l'estimation des dommages. Par conséquent, ces calculs semblent ne pas convenir pour le rapport succinct.

Exemple no 1: incendie d'un bassin (no 10)

Une installation se compose de 16 citernes de stockage, réparties dans quatre bassins. La surface du plus grand bassin est de 5'500 m^2 (sans compter la surface des citernes). Celui-ci n'étant pas muni de murs de séparation, une fuite de produit peut se répandre sur toute sa surface.

Selon la figure 4.1, une telle surface atteindra, en cas d'incendie, les rayons de létalité suivants:

R_{50} = 22 m	(calcul du nombre de décès avec F = 0,65)
R_1 = 45 m	(calcul du nombre de décès avec F = 0,15)
seuil de douleur R_S = 115 m	(important pour les forces d'intervention à cause de l'évacuation)

L'installation se trouve dans le voisinage d'une zone habitée et à proximité d'une ligne de chemin de fer régional. La distance entre le bord du bassin et l'immeuble le plus proche (12 personnes) est de 40 m; trois autres immeubles (3 x 15 = 45 personnes) sont situés dans un rayon de 100 m, et la ligne de chemin de fer (occupation moyenne = 50 personnes) n'est qu'à 30 m.

Pour l'indicateur n_1 (décès), on appliquera donc les critères suivants:
à l'intérieur du rayon R_{50} (= 22 m), personne n'est touché
entre R_{50} (= 22 m) et R_1 (= 45 m) se trouvent 12 + 50 = 62 personnes.
Le nombre total de décès serait donc le suivant: 62 x 0,15 = 9,3 décès.

La conversion du nombre de décès en indice d'accident majeur, effectuée à l'aide de la fig. 8.1 ou des formules, est la suivante:
indice d'accident majeur = 0,3 x log (nombre de décès) = 0,3 x log (9,3) = 0,29.

Résultat:
Avec 0,29, l'indice d'accident majeur est à peine inférieur à 0,3. Normalement, il n'est donc pas nécessaire de réaliser une étude de risque pour le scénario «incendie d'un bassin». Il conviendrait de revoir la situation si le nombre d'habitants dans le voisinage devait augmenter (p.ex. suite à une augmentation de la densité des constructions).

Conclusions:
Vu que la ligne de chemin de fer est proche de l'installation, il faut décider clairement que l'obligation de s'informer mutuellement doit figurer sur les plans d'intervention ou dans tout autre document approprié. Les forces d'intervention doivent être au courant des mesures indispensables.

Le seuil de douleur se situe vers 115 m. Dans l'exemple cité, il y a à l'intérieur de la zone trois maisons d'habitation avec au total 45 personnes. On s'assurera donc qu'en cas d'accident majeur ces personnes seront alertées à temps.

Si les bâtiments les plus proches sont habités par des personnes difficiles à évacuer (hôpital, home pour personnes âgées), le déroulement de l'évacuation des personnes présentes doit figurer dans les plans d'intervention.

5 Ampleur des dommages dans le scénario «fuite d'hydrocarbures»

5.1 Evénements déterminants

5.1.1 Conditions préalables

Dans le scénario «fuite d'hydrocarbures», la pollution d'eaux superficielles représente le dommage déterminant. Néanmoins, les effets sur les eaux souterraines ou sur l'eau potable peuvent, exceptionnellement, devoir eux aussi être pris en considération.

Lorsqu'une fuite d'hydrocarbures est à l'origine d'une pollution d'eaux superficielles, c'est

- soit parce que la canalisation de l'entreprise se déverse directement, ou indirectement, dans des eaux superficielles (événement 21),
- soit parce que le site comporte des surfaces imperméables ou que sa topographie est telle qu'un produit ou un liquide polluant peuvent s'écouler en surface vers des eaux superficielles (événement 22).

Lorsqu'il n'y a aucun risque de pollution d'eaux superficielles ou d'eaux souterraines, les événements 21 et 22 ne seront pas pris en considération, ce qui permettra de passer directement au chapitre 6 (explosion).

5.1.2 Infiltration d'hydrocarbures dans les canalisations publiques (no 21)

Lorsque des hydrocarbures s'écoulent jusque dans une canalisation, c'est généralement parce qu'un des trois événements suivants s'est produit:

- A cause d'une citerne endommagée, des hydrocarbures parviennent dans le bassin de rétention, puis dans la canalisation de l'entreprise, par exemple par le système d'évacuation de l'eau du bassin. Si cette canalisation est reliée directement ou indirectement à une eau superficielle (p. ex. à travers un séparateur d'huiles), cette eau peut être polluée (suite d'événements 3-8-21);
- A cause d'une citerne endommagée, une grande quantité d'hydrocarbures se répand dans le bassin, ce qui le fait déborder (p.ex. jet ou débordement par projection), ou alors du produit renversé pendant une opération de transvasement parvient tout d'abord dans le système d'évacuation de l'eau du site, puis dans la canalisation de l'entreprise (suite d'événements 3-8-20-21);
- A cause d'une citerne endommagée, le bassin se remplit d'hydrocarbures; la mousse et l'eau d'extinction utilisées pour lutter contre l'incendie de ce bassin, ou simplement pour éviter qu'il ne prenne feu, s'y déversent à leur tour; de ce fait, la capacité du bassin devient insuffisante. Il déborde, et le mélange hydrocarbures/mousse/eau parvient tout d'abord sur le site et, de là, dans la canalisation de l'entreprise (suite d'événements 3-7-10-(17)-20-21).

5.1.3 Ecoulement d'hydrocarbures en surface (no 22)

En principe, la suite des événements est semblable à celle du point 5.1.2, la seule différence étant que le produit qui s'est échappé, ou le mélange de produits, ne parvient pas dans la canalisation de l'entreprise, mais se répand sur la surface du site (suite d'événements 3-8-20-22 et 3-7-10-(17)-20-22).

5.2 Estimation des quantités répandues

5.2.1 Marche à suivre

Dans le cas du scénario «fuite d'hydrocarbures», on établit, à l'aide des événements déterminants, les quantités de produit qui s'échappent d'une citerne ou d'une conduite. Cette quantité se répandra de diverses manières suivant le type d'installation. Une partie sera retenue dans l'installation (bassin, volume de rétention, talus sur le site, sol), le reste s'en échappera, par exemple par la canalisation, ou s'infiltrera dans le sol. Cette quantité résiduelle peut être à l'origine d'une pollution des eaux ou d'une STEP, c'est donc elle qui définit l'ampleur effective du dommage.

Lorsqu'il s'agit d'eaux superficielles pouvant s'infiltrer dans une nappe souterraine, il y a en plus un risque de pollution de l'eau potable. Dans ce cas, l'ampleur des dommages se calcule à l'aide de l'indice «mois-personnes» (= durée de la mise hors service du captage multipliée par le nombre de personnes tou-

chées). L'ampleur des dommages dépend de l'importance de la pollution et du volume d'eau captée, en particulier donc de la quantité de produit répandu, des propriétés du sol dans la zone touchée (infiltration, courants), de la distance entre l'installation et le captage ainsi que du nombre de personnes alimentées par le captage en question.
Lorsqu'il n'y a aucun captage dans la zone à risques, on peut évaluer la pollution d'eaux souterraines exploitables au moyen des statistiques de la consommation d'eau pour obtenir ainsi une évaluation des eaux souterraines non exploitées [1].

L'ampleur des dommages ainsi calculés dépend surtout des conditions locales, qui sont évidemment très différentes d'une installation à l'autre. La définition des événements déterminants adoptée ici a permis de trouver un dénominateur commun. Cela ne dispense toutefois pas le détenteur d'une installation de s'assurer que les scénarios sont valables pour celle-ci, et, le cas échéant, de procéder à ses propres estimations.

5.2.2 Infiltration d'hydrocarbures dans une canalisation publique (no 21)

Erreur de manipulation lors de la purge du bassin

Une erreur lors de la purge d'un bassin contenant non seulement de l'eau, mais aussi des hydrocarbures qui se sont échappés d'une citerne, peut être à l'origine d'un déversement de ce mélange directement dans une canalisation publique. Dans un tel cas, la quantité de produit qui s'est répandue dans la canalisation dépend de la durée de l'erreur de manipulation et du débit de la pompe pendant l'opération. Pour le cas le plus défavorable (worst case), on compte 15 minutes pendant lesquelles une certaine quantité d'hydrocarbures se déverse librement ou par pompage (sans avoir été détectée ou sans rencontrer d'obstacles) dans la canalisation. C'est au plus tard à ce moment que l'erreur est décelée et, par conséquent, que l'opération est suspendue. La quantité maximale de produit dans la canalisation [m^3] se calcule de la manière suivante:

Quantité max. dans la canalisation [m^3] =
15 min. x débit de la pompe (ou de l'écoulement) [m^3/min.]

La suite de la propagation du produit dépend du type de canalisation ainsi que des mesures de rétention prises au niveau de la construction du site. S'il y a la possibilité de bloquer l'opération de purge ou de fermer les vannes de la canalisation, les dommages potentiels peuvent en être diminués d'autant.

Exemple 2: Infiltration d'hydrocarbures dans une canalisation publique (n° 21)

Erreur de manipulation lors de la purge du bassin

Une installation procède à la purge de ses 4 bassins au moyen de conduites de pompage munies de vannes manuelles; normalement, ces vannes sont fermées et assurées. A cause d'une erreur de manipulation pendant la purge, des hydrocarbures qui se sont échappés de la citerne se sont écoulés jusque dans la canalisation publique. Grâce aux dispositifs de sécurité, l'erreur est décelée dans les 15 minutes. Le débit de la pompe étant de 40 l/s, la quantité maximale d'hydrocarbures qui est parvenue dans la canalisation se calcule comme suit:
quantité [m^3] = durée x débit de la pompe = 15 min x 40 l/s = 15' x 60'' x 0,040 m^3/s = 36 m^3

La conduite de purge du bassin passe par un séparateur d'huiles de 30 m^3. Un volume égal d'hydrocarbures est retenu dans le séparateur et pourra être récupéré ultérieurement. Les 6 m^3 restants, qui débordent du séparateur, parviennent dans un ruisseau voisin qu'ils vont polluer. La surface maximale polluée se calcule comme suit en [km^2]:

surface max. [km^2] = quantité débordant [m^3] x 0,0567 [km^2/m^3] = 0,340 [km^2] (selon chiffre 5.3)

La conversion des dommages potentiels en indice d'accident majeur s'effectue à l'aide de la fig 8.1 ou de la formule: indice maximal d'accident majeur n_3 pour des eaux superficielles = env. 0,16

Résultat:
L'indice maximal d'accident majeur est inférieur à 0,3; il n'est donc pas nécessaire d'effectuer des investigations supplémentaires.

5.2.3 Ecoulement d'hydrocarbures en surface (no 22)

Jet d'hydrocarbures par-dessus le bord du bassin en cas de fuite d'une citerne
Si l'endroit de la fuite dans la citerne est situé plus haut que le couronnement du mur du bassin, on peut supposer que les hydrocarbures gicleront par-dessus le bassin. Par conséquent, le produit se répandra sur toute la surface de l'installation.

Compte tenu de ce scénario, la directive CARBURA [4] fixe les distances minimales qu'il convient de respecter entre la citerne et le mur du bassin. Le scénario «jet d'hydrocarbures par-dessus le bord du bassin» sera pris en considération dans les cas où ces distances ne sont pas respectées.

Avant de pouvoir calculer l'ampleur des dommages, il faut évaluer la quantité maximale de produit qui s'est répandue. Cette quantité dépendra en principe de l'importance de la fuite, de la hauteur du mur du bassin, de la distance entre la citerne et le mur du bassin et de la différence de hauteur entre le point de fuite et le niveau du contenu de la citerne. Pour une installation donnée, on peut estimer la quantité maximale de liquide qui s'échappera par-dessus le mur du bassin à l'aide du modèle simplifié de la trajectoire parabolique (voir exemple 3a).

L'extension de la fuite (en surface) dépend en majeure partie de l'installation considérée (topographie, pourcentage de surfaces imperméables, réseau de canalisations, etc.) ainsi que des possibilités d'intervenir. Cet événement doit donc être estimé individuellement pour chaque citerne.

Débordement par projection
Si, en cas de rupture soudaine du manteau d'une citerne, le niveau du liquide est assez haut, il se forme une vague d'hydrocarbures qui se déplace en direction du mur du bassin. Si cette vague s'écrase contre le mur avec une certaine vitesse, le liquide gicle avec force par-dessus le mur; une partie de la fuite se répand ainsi sur le site.

Le déroulement de cet événement varie selon le type de fuite (p. ex. destruction totale de la citerne, déchirure d'un cordon de soudure ou arrachement d'un trou d'homme). Dans le cas le plus grave, c'est-à-dire si la citerne est entièrement détruite, la moitié environ de la quantité qui a giclé contre le mur du bassin se répandra sur le sol à l'extérieur [27]. Comme cette quantité représente au maximum le volume de la première vague, la quantité d'hydrocarbure projetée hors du bassin est inférieure à 1 m³, pour autant que les distances et la construction du bassin soient réglementaires.

Cet exemple montre que ce scénario est secondaire, même si une eau superficielle ou un écoulement dans une canalisation se trouve juste derrière le mur du bassin.

Fuite d'hydrocarbures lors d'une opération de transvasement ou à cause d'un trou dans une conduite
Si une fuite est décelée pendant une opération de transvasement, on calcule la quantité maximale qui s'est échappée sur la base du débit de la pompe dans la conduite au moment de l'opération ou sur la base de la pression statique et de la durée entre le moment où la fuite est décelée et l'interruption des pompes ou le colmatage de la fuite. A l'aide des données sur les mesures de sécurité prises (séparateur d'huiles, volume de rétention) et sur les conditions topographiques, on peut estimer, pour l'installation étudiée, la quantité de produit qui se répand à la surface du site et la quantité qui s'échappe au dehors (voir exemple 3b).

Débordement d'un bassin

Un bassin dont le volume est conforme aux prescriptions ne peut pas simplement déborder à cause d'une fuite, puisqu'il doit pouvoir retenir au moins le volume utile de la plus grande citerne. Il ne peut y avoir débordement que si on déverse dans le bassin - en plus du produit qui s'échappe de la citerne - de la mousse, de l'eau d'extinction ou de refroidissement. S'il y a risque de débordement, c'est surtout dans le cas des bassins de petites dimensions (dont le volume de réserve est petit lui aussi) ou de grands bassins avec plusieurs citernes qu'il faut refroidir en cas d'incendie. Il convient donc de déterminer, pour chaque installation, les quantités qui peuvent s'échapper à la suite d'un débordement; ce calcul sera effectué à l'aide des données sur les bassins existants et du plan d'extinction, compte tenu également des quantités d'eau que l'on entend utiliser.

Pour estimer les effets, on prendra comme donnée de base une fuite dans une citerne pleine située dans le bassin présentant le plus petit volume de réserve. On additionnera au volume du produit qui s'est échappé le volume de la mousse (lutte contre l'incendie) et le volume de l'eau utilisée pour refroidir les autres citernes du bassin considéré. On admettra que la durée de l'apport de produit d'extinction est d'une heure. On peut admettre que la durée de l'intervention des pompiers est de 2 heures, et que l'apport d'eau de refroidissement se fait pendant au moins un quart d'heure[D]. La différence entre, d'une part, le volume total des hydrocarbures répandus, du produit et de l'eau d'extinction et, d'autre part, le volume du bassin donne la quantité du mélange débordant du bassin.

5.3 Estimation des effets

Eaux superficielles (indicateur n_3)

Les eaux superficielles sont considérées comme polluées lorsque la pollution en surface est supérieure à 15 g d'huiles minérales par m^2 (= 0,015 kg/m^2), cela indépendamment du type de produit. Cette valeur limite [1] [E] permet de calculer la surface polluée, à l'aide de la quantité estimée du produit qui parvient dans l'eau et de sa densité. Pour simplifier, on admet pour la densité du produit une valeur moyenne de 850 kg/m³. La formule appliquée est la suivante:

Surface [km^2] = (quantité répandue x densité du produit) / valeur limite =
quantité répandue [m^3] x 0,0567 [km^2/m^3]

avec densité du produit = 850 [kg/m^3] et
valeur limite = 0,015 [kg/m^2].

Vu que les huiles minérales surnagent à la surface de l'eau, qu'il n'y a donc pour ainsi dire pas de mélange, ni de transformations chimiques et biologiques sensibles, la pollution du volume d'eau selon [1] n'est pas déterminante, ce qui permet d'ignorer cette donnée. La formule ci-dessus peut donc être appliquée de manière générale pour calculer la pollution d'une eau.

Eaux souterraines (indicateur n_4)

Selon la directive de l'OFEFP [1], la pollution d'eaux souterraines se rapporte à la pollution de l'eau potable. La norme déterminante pour la pollution d'une eau potable est fixée dans l'ordonnance sur les denrées alimentaires (ODAI). La valeur limite relative aux huiles minérales est de 20 mg d'hydrocarbures par m³ d'eau. A partir de la consommation spécifique d'eau par personne (estimation: 400 l/jour = 12 m^3/mois) [16], on calcule comme suit la pollution d'un captage d'eau potable ou sa mise hors service en mois-personnes [PM]:

Mois-personnes

= (volume répandu x densité du produit) / (consommation d'eau x valeur limite)

= volume répandu [m^3] x 3,5 x 10^6 [PM/m³]

[D] Etant donné que les citernes ne sont pas refroidies dans les bassins en feu, on admet un apport erroné d'eau de refroidissement d'une durée d'un quart d'heure. Sont refroidies, selon CRL 2.1 a) F6 les citernes exposées, en particulier dans les bassins voisins.

[E] voir note B, chap. 2.3.2

Exemple 3: Ecoulement en surface (n° 22)

Exemple 3a: jet d'hydrocarbures par-dessus le bord du bassin en cas de fuite dans une citerne

Une citerne pleine de 20 m de hauteur et de 20 m de diamètre (surface à la base = 315 m^2) fuit en un point situé plus haut que la limite supérieure du mur du bassin, ce mur ayant 4 m de hauteur. Le mur du bassin est à 5 m de la citerne, la distance qui les sépare est conforme à la directive CARBURA (C 2.1.5). Avec le modèle de la trajectoire parabolique (rapport entre diamètre du trou et niveau du liquide <1/100), on obtient la quantité maximale propulsée par-dessus le mur pour un trou situé à 6,5 m (= demi-distance du mur + hauteur du mur). Le jet rejette le volume suivant de produit par-dessus le mur du bassin jusque sur le site de l'installation:

Volume max. de produit répandu [m³] = (niveau maximal du produit - distance du mur - hauteur du mur) x surface de base de la citerne = (20 - 5 - 4) x 315 = 3465 [m³]

Volume de produit répandu en 6 / 12 heures pour une fuite de 0,0001 m^2 = 1 cm^2:

V (6 h) = 35 [m^3] V (12 h) = 70 [m^3]

Compte tenu des autres risques d'extension du dommage (topographie, degré de bétonnage du site), des mesures de sécurité prises (volumes de rétention) et du voisinage de l'installation (distance jusqu'à une eau), l'ampleur des dommages doit être estimée de manière individuelle pour chaque installation.

Résultat:

La quantité maximale de produit répandu se présente dans le cas le plus défavorable (worst case), lorsque la citerne est pleine, que la fuite assez petite se situe à une hauteur défavorable et que son colmatage ou la dérivation du jet de liquide dans le bassin de rétention prennent un temps relativement long. Ce scénario peut être déterminant surtout pour les grandes citernes lorsque le mur de leurs bassins de rétention est bas et que la distance entre ce mur et elles-mêmes est courte. La quantité répandue se réduit de manière drastique si l'action des services d'intervention s'effectue au moins dans un laps de temps de quelques heures. Ce qui doit permettre de maîtriser le problème.

Exemple 3b: Fuite d'hydrocarbures lors d'une opération de transvasement ou à cause d'un trou dans une conduite

L'installation dispose d'une place de transvasement où le produit est transvasé par conduites depuis les citernes jusqu'aux camions ou aux wagons de chemin de fer. Lors d'une opération de transvasement, une conduite se rompt; la fuite dure 10 minutes, et 25 m^3 d'huile de chauffage s'échappent. La place est bétonnée et le produit qui s'en écoule est retenu dans un séparateur d'huile de 20 m^3 de capacité. Le surplus se répand directement dans le lac voisin. Vu la topographie du site, on peut retenir en surface 3 m^3 d'huile de chauffage. Les 2 m^3 restants se répandent dans le lac, où ils provoquent la pollution suivante:

Surface [km^2] = volume du produit répandu [m^3] x 0,0567 [km^2/m^3] = 2 x 0,0567 = 0,113 km^2 (selon chap. 5.3)

La conversion de cette pollution en indice d'accident majeur est effectuée selon les données de la fig 8.1. ou selon la formule:

indice maximal d'accident majeur n_3 pour les eaux superficielles = env. 0,02

Résultat:

L'indice maximal d'accident majeur est clairement inférieur à 0,3; il n'est donc pas nécessaire d'effectuer des investigations supplémentaires.

Conclusion:

Si l'installation ne disposait pas d'un volume de rétention sous la forme d'un séparateur d'huiles, la quantité qui se répandrait dans le lac serait de 22 m³ environ. La pollution serait 11 fois plus importante, de ce fait, l'indice d'accident majeur passerait à env. 0,33. Dans un tel cas, des investigations complémentaires s'imposeraient (voir aussi le tableau de l'annexe 3).

6 Ampleur des dommages dans le scénario «Explosion»

6.1 Evénement déterminant

Dans le scénario «explosion dans une canalisation publique», on prend comme point de départ une infiltration d'essence dans une canalisation publique, cette essence provenant d'un bassin, d'une citerne ou d'une opération de transvasement. Ce scénario est réaliste lorsque de l'essence:

- parvient, par exemple depuis le système de purge du bassin, dans la canalisation de l'entreprise et, de là, s'infiltre dans la canalisation publique (suite d'événements 3-8-21-23);
- se répand sur les surfaces bétonnées du site et, ensuite, atteint directement ou indirectement (par la canalisation de l'entreprise) la canalisation publique (suite d'événements 3-8-20-21-23).

Ce scénario est insignifiant dans le cas d'installations qui ne stockent pas d'essence, ou lorsqu'on peut exclure tout risque de liaison entre d'une part une citerne à essence et son bassin ou un poste de transvasement et d'autre part une canalisation publique. Dans un tel cas, il n'est donc pas nécessaire d'effectuer des investigations complémentaires.

S'agissant des installations où le scénario «explosion» est significatif, les pages suivantes en exposent les conséquences potentielles sur l'homme (voir aussi l'exemple 4). Les effets sur les infrastructures sont traités au chapitre 7.3.

6.2 Calcul de l'onde de choc

Lorsque de l'essence s'infiltre dans une canalisation publique (ou dans d'autres cavités fermées comme les puits des conduites), il peut se former, à cause de sa volatilité et parce que son point éclair est bas, des mélanges explosifs d'air et de gaz susceptibles de se propager le long de la canalisation. Si ce mélange gazeux s'enflamme (p. ex. à cause d'une étincelle électrique), il peut produire une forte onde de surpression, laquelle va toutefois rapidement décliner par réflexion dans les coudes et les ramifications de la canalisation [6, 18]. Selon l'endroit où l'explosion a lieu, l'onde de choc peut être dangereuse pour les personnes.

L'ampleur des dommages provoqués par une telle explosion dépend de la canalisation en question (diamètre, longueur, situation et exposition) ainsi que des mesures de sécurité techniques prises sur le site de l'installation (p. ex. bassins de rétention, détecteurs de gaz, installations protégées contre les explosions). Les atteintes sont graves lorsque l'installation est proche d'une zone urbanisée à population élevée ou s'il y a des infrastructures importantes dans le voisinage (voir chap. 7.3 consacré aux dégâts matériels consécutifs à une explosion).

Il convient de distinguer deux scénarios [18]:

- dans le cas d'une canalisation de petit calibre (jusqu'à env. 400 mm de diamètre), où la distance entre les postes de décharge (puits) est grande (> 20 m), une détonation peut se produire au moment de l'inflammation des vapeurs d'essence. A cause de la forte surpression initiale (env. 25 bar), cette détonation peut être dangereuse pour les personnes ou endommager gravement les infrastructures;
- dans le cas de canalisations plus grandes, l'explosion qui suit une éventuelle inflammation des vapeurs d'essence peut présenter une surpression initiale de 7 bar au maximum.

Dans les deux cas, la surpression produite se dissipe rapidement (sur quelques mètres) à l'air libre. Pour estimer les dommages potentiels, on peut de ce fait prendre en considération une pression initiale de 7 bar, dans un cas comme dans l'autre.

6.3 Estimation des effets

Le diagramme de la fig. 6.1 ci-après montre trois courbes représentant les rayons d'action de trois surpressions différentes en fonction du volume inflammable dans la canalisation publique (selon [6], voir aussi l'exemple 4).

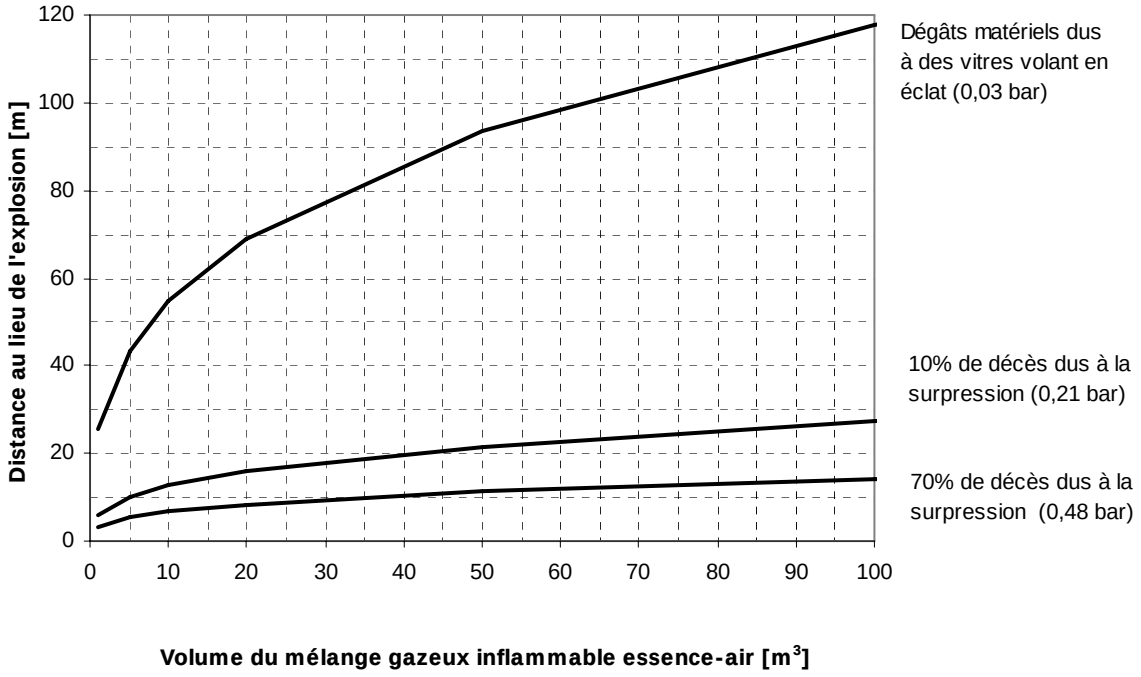


Fig. 6.1: Diagramme servant à déterminer les distances d'action d'une explosion se produisant dans une canalisation

Les courbes $R_{0,21}$ (surpression 0,21 bar) et $R_{0,48}$ (surpression 0,48 bar) sont à reporter sur le voisinage d'un site où une explosion pourrait se produire (c'est-à-dire le long de la canalisation considérée). A l'aide du nombre de personnes occupées dans la zone concernée, on peut calculer le nombre de personnes mises en danger.

Pour connaître l'impact d'une onde de choc sur les personnes, on peut consulter la référence [3]. Les principales valeurs sont récapitulées ci-après.

Tab. 6.1: Critères pour l'estimation de l'impact d'une onde de choc sur les personnes [3]

Surpression [bar]	Impact sur les personnes
1	95% de décès et de blessés à l'air libre; 1% de déchirures pulmonaires
0,48	**70 % de décès et de blessés à l'air libre (hypothèse pour l'estimation des dommages: 70 % de décès)**
0,34	25% de décès et de blessés à l'air libre
0,21	**10 % de décès et de blessés à l'air libre (hypothèse pour l'estimation des dommages: 10 % de décès)**
0,17	troubles auditifs
0,02-0,03	blessures éventuelles provoquées par des éclats de verre

Exemple 4: Explosion dans une canalisation publique (n° 23)

Dans une installation de stockage, de l'essence s'échappe pendant une opération de transvasement. Une partie de cette essence est récupérée dans un bassin de rétention, le reste se répand en surface hors du site et parvient dans une canalisation publique. Un tronçon de canalisation long de 100 m se remplit de vapeurs d'essence qui s'enflamment. A cet endroit, le diamètre de la canalisation est de 600 mm. Le volume du mélange explosible gaz/air dans la canalisation se calcule ainsi:

V = 100 m x surface de la section du tuyau = 100 m x $(0,3)^2 \times \pi = 28,3\ m^3$.

Selon la figure 6.1, les rayons d'action sont: $R_{0,48}$ = 10 m, $R_{0,21}$ = 18 m.

La canalisation publique longe une route très fréquentée avec des immeubles d'habitation des deux côtés à une distance de 20 m. Sur une distance de 10 m, trois personnes au maximum se trouvent là par hasard; jusqu'à 18 m, on dénombre encore cinq autres personnes. Pour estimer l'ampleur des dommages, on utilise un modèle conservatif, où les personnes à l'intérieur des bâtiments sont néanmoins considérées comme se trouvant elles aussi à l'extérieur.

Avec ces informations, l'ampleur des dommages pour l'indicateur n_1 se calcule comme suit:
3 personnes sont à l'intérieur de $R_{0,48}$. Le facteur de létalité est de 0,7 (70% de décès). 5 autres personnes sont entre $R_{0,48}$ et $R_{0,21}$ (facteur de létalité 0,1). Les personnes à l'intérieur des bâtiments se trouvent hors de l'isobare 0,21 bar et ne sont donc pas prises en considération.
Nombre total de décès: (0,7 x 3) + (0,1 x 5) = 2,6 personnes.

La conversion du nombre de décès en indice d'accident majeur, selon la fig. 8.1 (ou avec la formule), est la suivante:
Indice maximal d'accident majeur n_1 = 0,3 x log (nombre de décès) = 0,3 x log (2,6) = 0,12.

Résultat:
Le rayon d'action étant court, les indices d'accident majeur sont nettement inférieurs à 0,3; il n'est donc pas nécessaire d'effectuer des investigations complémentaires. Les dégâts matériels seront appréciés séparément.

7 Cas spéciaux

7.1 Explosion d'un nuage de gaz

7.1.1 Enoncé du problème

L'explosion d'un nuage de gaz entre en ligne de compte lorsque, dans un rayon d'env. 150 m autour de l'installation, la densité de la population est élevée (immeubles d'habitation ou industrie) ou qu'il y a souvent des manifestations, donc d'importants rassemblements de personnes. Dans ces cas, l'estimation des dommages sera réalisée selon la description ci-après.

7.1.2 Evénements déterminants

Evaporation d'une nappe d'hydrocarbures liquides: une fuite d'essence peut produire un nuage de gaz dont l'ampleur et la propagation sont variables suivant les conditions météorologiques (température, ensoleillement) et aérologiques (voir fig. 7.1). Ce processus est déterminé par les propriétés thermodynamiques du fluide. Plus la température ambiante est élevée et plus elle se situe au voisinage du domaine d'ébullition de l'hydrocarbure, plus la pression de vapeur, c'est-à-dire la volatilité de la substance, sera élevée. L'essence, dont le domaine d'ébullition oscille entre 40°C et 220°C et qui, par ailleurs, présente un point éclair bas (-20°C), peut donc former, en se combinant avec l'air, un mélange gazeux inflammable. Le kérosène, le diesel et l'huile de chauffage se caractérisent par un domaine d'ébullition beaucoup plus élevé (> 140°C) et un point éclair plus haut (>30°C).

En été, vu les températures élevées et l'intensité des rayons du soleil, on peut s'attendre à un taux élevé d'évaporation. En hiver, le faible ensoleillement abaisse les températures, ce qui réduit les taux d'évaporation.

Formation d'aérosols à la suite d'une fuite dans un tuyau: Ce phénomène ne se produit que dans le cas où l'ouverture de la fuite est petite; il est donc impossible en cas de rupture totale d'un tuyau. Il peut se produire avec tous les hydrocarbures, mais n'est significatif que pour l'essence. En cas de pulvérisation, il se produit un nuage de gouttelettes dont certaines, en l'absence de vent, vont s'évaporer, tandis que d'autres tombent lentement sur le sol (rain out) et forment une nappe. Le nuage se comporte comme un nuage lourd, similaire à celui qui se développe lors de l'évaporation d'une nappe d'hydrocarbures.

L'étendue des dommages demeure localement limitée en raison de la petitesse des fuites. C'est donc l'évaporation d'une nappe d'hydrocarbures qui reste déterminante pour le scénario «explosion d'un nuage de gaz».

7.1.3 Estimation des effets (rayonnement de chaleur, onde de choc)

La dispersion d'un nuage de gaz lourd peut être évaluée à l'aide de modèles développés pour les gaz lourds, par exemple EFFECTS 2.0/4.0, HGSYSTEM 3.0 ou FLACS.

La fig. 7.2 présente les dimensions géométriques de nuages de gaz inflammables en fonction de la surface d'évaporation. Pour calculer la grandeur maximale d'un nuage inflammable avec le programme EFFECTS 2.0, il a été tenu compte des conditions suivantes:

situation atmosphérique en été (D5) avec

vitesse du vent	5	ms^{-1}
température de l'air	20	°C
classe de stabilité Pasquill	D	(neutre)
rugosité du sol	0,3	m

Pour estimer les atteintes à la population dues au rayonnement de chaleur d'un nuage de gaz enflammé, on admettra que 50% des personnes présentes seront mortellement blessées [2]. Pour les atteintes que subissent les personnes se trouvant dans des bâtiments, seules 10% d'entre elles sont en danger selon [2]. Les effets du rayonnement de chaleur hors du nuage de gaz peuvent être ignorés, vu la courte durée de l'incendie. Personne n'est mis en danger.

Pour estimer l'ampleur des dommages matériels dus au rayonnement de chaleur, il faut déterminer l'extension maximale du nuage de gaz (selon les fig. 7.1 et 7.2). Ces dimensions peuvent être approchées par le rectangle B x (L+R), et reportées sur le voisinage de l'installation réelle. L'ampleur des dommages varie en fonction de la direction du nuage et de l'exposition des personnes. Pour estimer les dommages, seule la direction du nuage qui provoque le plus grand dommage potentiel est importante.

Les atteintes portées aux personnes et aux infrastructures par une onde de choc déclenchée par l'inflammation d'un nuage de gaz se calculent à l'aide de [6]. Les rayons des isobares dépendent de l'énergie de combustion, c'est-à-dire de la masse explosible. Selon le calcul, la surpression initiale atteint au maximum 0,3 bar [20]. La fig. 7.2 présente les domaines de pression 0,21 bar (létalité 10%) et 0,17 bar (lésions auditives) aux éloignements maximaux E et D du bord du bassin en fonction de la surface d'évaporation (surface du bassin) (fig. 7.1).

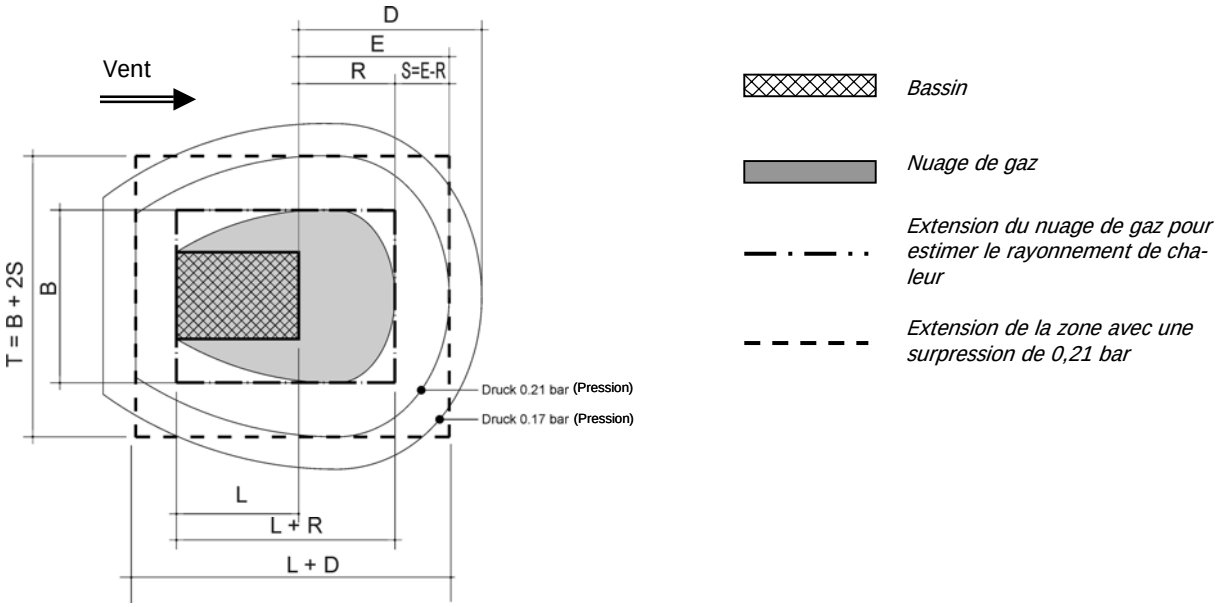


Fig. 7.1: Formation d'un nuage de gaz suite à l'évaporation dans un bassin de longueur L et propagation du nuage de gaz inflammable jusqu'à une distance R du bord du bassin. Suite à l'inflammation, il se produit une explosion de gaz partiellement confinée dégageant une onde de pression (éloignement E du bord du bassin pour 0,21 bar, éloignement D du bord du bassin pour 0,17 bar).

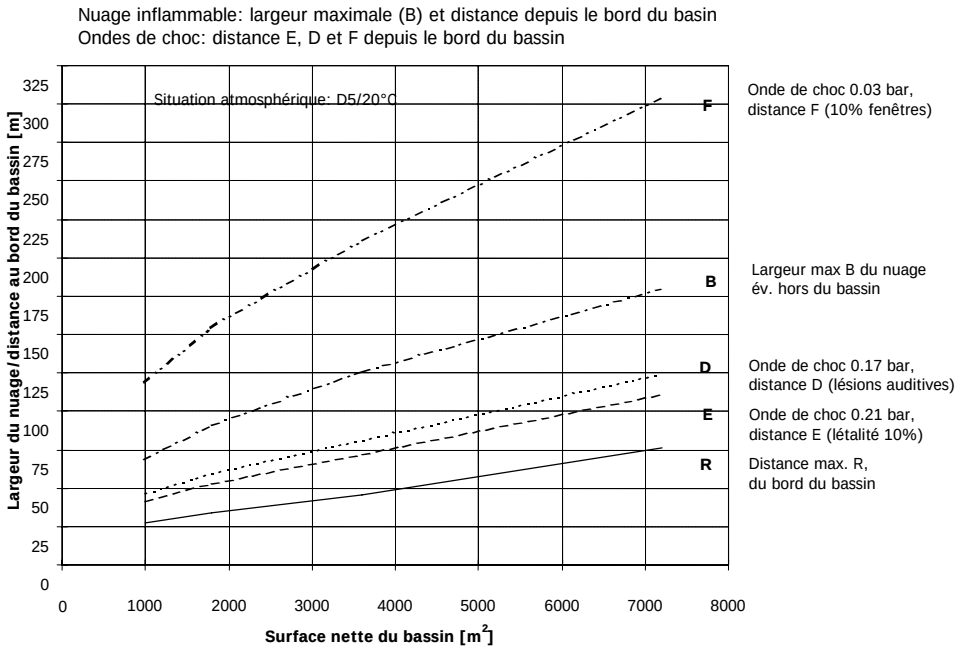


Fig. 7.2: Largeur B du nuage et éloignements maximaux du bord du nuage par rapport au bord du bassin R ainsi que domaines de pression E (0,21 bar), D (0,17 bar) et F (0.03 bar)

Pour estimer l'ampleur des dommages dus aux ondes de pression, il s'agit de déterminer le rectangle T x (L+D) selon la fig. 7.1 et à l'aide de la fig. 7.2, et de reporter ce domaine de pression sur le voisinage de l'installation concrète. L'ampleur du dommage est le produit des personnes touchées sur la surface et de la létalité applicable. Le vent peut souffler de n'importe quelle direction. Pour estimer les dommages, c'est donc la position de la zone de pression donnant le plus grand dommage potentiel qui est déterminante.

7.2 Boil over

7.2.1 Enoncé du problème

Les dommages potentiels selon ce scénario seront calculés pour toute installation servant au stockage d'huile brute, d'huile lourde, de carburant diesel ou d'huile de chauffage, lorsqu'il y a, dans un rayon de 300 à 400 m, soit un important rassemblement de personnes (p. ex. terrain de sport, gare), soit des bâtiments dont l'évacuation est difficile (p. ex. hôpitaux, homes pour personnes âgées).

7.2.2 Estimation des effets

Les ouvrages de référence ne renseignent pas sur la manière de calculer l'ampleur des dommages. Pour cette raison, les accidents qui se sont produits par boil over ont été recensés et évalués, et leurs effets comparés à ceux qui se produisent lors de l'incendie d'un bassin. Selon l'exploitation de ces données, le risque létal pour les personnes dû au rayonnement de chaleur d'un boil over peut être considéré comme similaire à celui du scénario «incendie d'un bassin». Pour calculer le nombre de décès, on aura donc recours aux indications du chapitre 4 et en particulier de la figure 4.1. Dans ce cas, c'est le bassin présentant la plus grande surface, dans lequel se trouvent des citernes verticales servant au stockage d'huile brute, d'huile lourde, de carburant diesel ou d'huile de chauffage qui fait office de bassin déterminant.

Si l'installation se trouve dans une zone urbanisée à population élevée ou dans une zone où l'évacuation des bâtiments est difficile, il est recommandé de définir en plus les rayons d'évacuation, ceux-ci pouvant être mentionnés dans les plans d'intervention (voir chiffre 7.2.3).

Les ouvrages de référence ne comportent pas non plus de données sur la manière de calculer les dégâts aux infrastructures. Cependant, l'impact d'un boil over est généralement limité sur le plan local à une seule direction (projection de débris); de ce fait, il est négligeable pour l'estimation des dommages par rapport à celui d'un flux de chaleur.

7.2.3 Calcul des rayons d'évacuation

Pour déterminer le rayon dans lequel il convient d'évacuer les personnes qui sont en danger (rayon d'évacuation), on dispose de deux méthodes:

A) Méthode théorique sur le modèle d'un bassin en flammes

Le calcul du flux de chaleur d'un boil over et l'analyse des données sur les accidents permettent de montrer - en ce qui concerne les atteintes aux personnes - que l'incendie d'un bassin est une bonne approche pour estimer l'effet de la chaleur. Selon [3], il peut y avoir des personnes blessées dans un cercle délimité par le flux de chaleur de 5 kW/m² appelé seuil de douleur dans le présent rapport. La fig. 4.1 permet de déterminer le rayon d'évacuation R_s, à l'intérieur duquel toutes les personnes présentes sont en danger.

B) Méthode du ministère français de l'environnement

Dans [21], on trouvera des indications relatives à un rayon de mise en danger qui peut être calculé au moyen d'une formule empirique d'approximation:

$$R[m] = 5{,}86 \times M^{1/3}$$

avec M = 10% du contenu maximal de la citerne [kg]

Les rayons calculés avec cette formule sont plus étendus qu'avec la méthode théorique. Ils peuvent être importants dans les cas spéciaux, par exemple lorsqu'on perd le contrôle d'un événement ou s'il y a des personnes difficiles à évacuer.

7.3 Dégâts matériels (indicateur n_6)

7.3.1 Situation

Lorsque des infrastructures importantes se trouvent dans le voisinage immédiat de l'événement, il faut s'attendre à des dégâts matériels, surtout en cas d'onde de choc ou de projection de débris, après

- une explosion dans une canalisation publique (hors du site)
- une explosion d'un nuage de gaz

Pour estimer les dommages, ce sont les effets d'une onde de choc qui sont déterminants et non la projection de débris. C'est la raison pour laquelle nous ne décrivons ci-après que l'expansion d'une onde de choc et ses effets sur les bâtiments et sur les installations.

7.3.2 Estimation des effets

D'après les directives de l'OFEFP [1], l'indicateur «dégâts matériels» ne joue un rôle que si ces dégâts ne sont pas déjà pris en compte par un autre indicateur. En outre, les coûts des soins hospitaliers, de l'évacuation des personnes, des mesures temporaires et des interruptions d'entreprises ne sont pas pris en compte. Comme la valeur limite pour les dommages graves se situe à 50 millions de francs, il ne faut s'attendre à des effets aussi importants que dans des situations exceptionnelles (p.ex. installations d'infrastructure importantes menacées); on pourra en faire une estimation approximative à l'aide de la fig. 6.1 et du tab. 7.1.

Tab. 7.1: Critères pour l'estimation de l'impact d'une onde de choc sur les infrastructures [3]

Surpression [bar]	Effets sur les infrastructures
1	Destruction de bâtiments industriels
0,48	**Renversement de wagons-marchandises**
0,34	99% de dégâts aux structures des constructions
0,30	Effondrement de bâtiments
0,21	**50 % de dégâts aux constructions**
0,17	50% de destruction d'ouvrages en maçonnerie
0,06-0,08	1% de dégâts aux bâtiments
0,02-0,03	**10 % des vitres volent en éclats**

8 Calcul de l'indice d'accident majeur

Echelle (indice d'incident majeur):

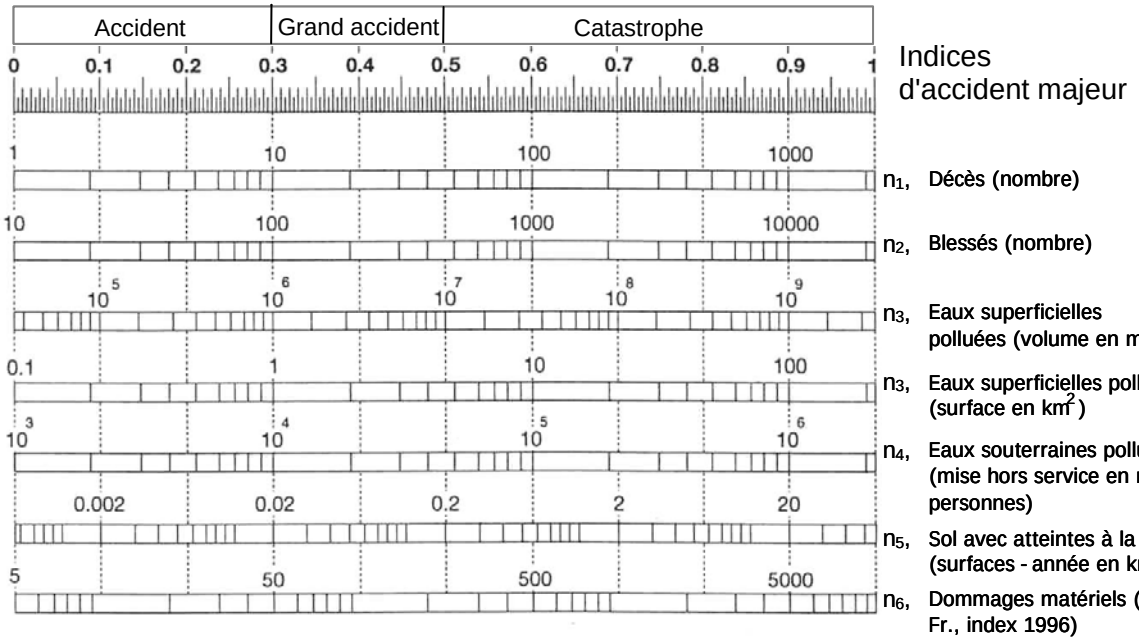


Fig. 8.1: Echelle permettant de convertir les effets d'un accident majeur en indices d'accident majeur, selon la directive OFEFP [1]

Pour chaque indicateur, la conversion des données sur les dommages potentiels en indices d'accident majeur sera effectuée selon les critères d'appréciation de l'OFEFP [1].

On peut aussi calculer les indices d'accident majeur pour les indicateurs n_1, n_3, n_4 et n_6 à l'aide des formules suivantes:

n_1 = 0,3 x log (nombre de décès)

n_3 = 0,3 x (log (surface en km^2) + 1)

n_4 = 0,3 x (log (mois-personnes) - 3)

n_6 = 0,3 x (log (mio. de Fr.) - log 5)

Le tab. A3 de l'annexe 3 donne, pour chaque indicateur, l'ampleur limite des dommages correspondant à l'indice 0,3 selon la directive OFEFP (conversion selon [1]). Pour établir s'il y a pollution des eaux, par exemple, ce tableau indique la quantité d'huiles minérales «nécessaire» pour polluer 1 km^2 d'eaux superficielles, ce qui correspond à un indice n_3 d'accident majeur de 0,3. Les calculs sont effectués en fonction des propriétés de chacun des produits; ils peuvent aussi servir de points de repère pour l'appréciation des résultats de l'estimation des dommages potentiels.

Appendice

Annexe 1 Bibliographie

Annexe 2 Glossaire

Annexe 3 Ampleur des dommages correspondant à l'indice d'accident majeur 0,3 selon les directives de l'OFEFP

Annexe 4 Evaluation sismologique d'installations de citernes verticales

Annexe 5 Récapitulation des mesures générales de sécurité, formulaire pour l'application de l'article 3 de l'OPAM (rapport succinct, partie 1)

Annexe 6 Formulaire pour l'estimation de l'ampleur des dommages (rapport succinct, partie 2)

Annexe 1

Bibliographie

Bibliographie

[1] OFEFP, directive, Critères d'appréciation I concernant l'ordonnance sur les accidents majeurs, série «L'environnement pratique», 1996

[2] OFEFP, Exemple de méthode: Etude de risque d'une citerne pour gaz liquéfiés; série «L'environnement pratique», 1996

[3] DIREKTION DES INNERN DES KANTONS ZÜRICH, Koordinationsstelle für Störfallvorsorge, Schadenausmasseinschätzung, Referenzbeispiele und Hilfsmittel, 1992

[4] CARBURA, Richtlinien für Tankanlagen, 1974 (mit Ergänzung von 1992)

[5] TNO, Methods for the Calculation of the Physical Effects Resulting from Release of Hazardous Materials (Liquids and Gases), CPR 14E-Report of the committee for the prevention of Disasters (Yellow Book), 3nd. Ed. Voorburg, 1997

[6] VAN DEN BERG, A.C., The Multi Energy Method, A framework for vapour cloud explosion blast prediction, Journal of Hazardous Materials, Vol 12, 1, 1985

[7] Ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol) RS 814.12

[8] CARBURA, Rahmenbericht über Stehtankanlagen für flüssige Brenn- und Treibstoffe im Hinblick auf die Störfallvorsorge, SKS Ingenieure AG, 1. Oktober 1992

[9] J.F.ROURE ET AL, Le Boil Over, in: Sciences et Techniques, n° 28, juillet-août 1996

[10] P.P.K.RAJ, Calculation of thermal radiation hazards from LNG fires, a review of the state of the art, AGA Transmission Conference, St. Louis, U.S.A., 1977

[11] TNO, Auszug aus Datenbank FACTS über Störfälle, 1991 (non publié)

[12] OFEFP, Seuils quantitatifs selon l'OPAM; série L'environnement pratique, état 1993

[13] K.S.MUDAN, Thermal radiation hazards from hydrocarbon poolfires, Prog. Energy Combust. Sci. 10, 1984

[14] A. SCHÖNBUCHER, D. GRÖCK, R. FIALA, X. ZHANG, Technische Überwachung, VDI Verlag Bd. 33 Nr. 6, 1992

[15] VDI WÄRMEATLAS, 4. Auflage, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1984

[16] STATISTISCHES AMT DES KANTONS ZÜRICH, Statistisches Jahrbuch des Kantons Zürich 1997

[17] F.P. LEES, Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control, Butterworths, 1996

[18] W. BARTKNECHT, Explosionen, Ablauf und Schutzmassnahmen, Springer Verlag, 1993

[19] TNO, Methods for the Determination of Possible Damage (Green Book), Voorburg, First Edition 1992

[20] GIESBRECHT H. ET AL, Analyse der potentiellen Explosionswirkung von kurzzeitig in die Atmosphäre freigesetzten Brenngasmengen, Chemie Ing Tech: 53, Teil 2, 1981

[21] OBERRHEIN-KONFERENZ, Arbeitsgruppe Umwelt, Dritter Bericht über industrielle Risiken: Gefahrenpotentiale von Lägern für Kohlenwasserstoffe, 1995

[22] BROECKMANN B., SCHECKER H.G.: Heattransfer Mechanismus and Boilover in Burning Oil-water Systems, J. Loss Prev. Process Ind. Vol. 8, No 3, 1995

[23] INERIS, Retour d'expérience, Les accidents dans les dépôts d'hydrocarbures, Journée professionnelle, Lyon, 1996

[24] HOMMEL, G., Handbuch der gefährlichen Güter, dritte Auflage 1988

[25] HOMMEL, G., Handbuch der gefährlichen Güter, neunte Auflage 1997

[26] VISINONI, G., Les apports du retour d'expérience pour la définition des scénarios de référence liés aux hydrocarbures, 1996

[27] PHELPS P.J., JURLIDINI R., The Computer Modelling of Tank Spills and Containment of Overflows, 7th Int. Symp. on Loss Prev. Process Ind., Taormina (I), May 1992

[28] SOCIÉTÉ SUISE DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES; Norme SIA 160, Actions sur les ouvrages porteurs., édition 1989

[29] Ordonnance du 26 août 1998 sur l'assainissement des sites pollués (Ordonnance sur les sites contaminés, OSites) RS 814.680

[30] OFEFP, Instructions « Evaluation et utilisation de matériaux terreux (Instructions matériaux terreux)», L'environnement pratique, décembre 2001

[31] OFEFP, «Erdbebensicherheit bestehender unverankerter Stehtanks, Beurteilung aus der Sicht der Störfallverordnung», Studie der RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA im Auftrag des BUWAL, 2003

[32] KANTON ZÜRICH, Checkliste CL2 des Zürcher Behelfs «Erdbeben und Störfallvorsorge» vom Oktober 2001

[33] API 650 «Welded Steel Tanks for Oil Storage», Appendix E, American Petroleum Institute, 10th edition Nov. 1998, addendum 1 March 2000.

[34] MALHOTRA P. Practical Nonlinear Seismic Analysis of Tanks, Earthquake, Spectra, Vol. 16, 473-492, 2000.

[35] SOCIÉTÉ SUISE DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES; Norme SIA 261, Actions sur les ouvrages porteurs, édition 2003

[36] EUROCODE 8, partie 4: silos, réservoirs et canalisations Prénorme européenne, ENV 1998-4, Annexe A. Comité européen de normalisation, Bruxelles, 1998.

[37] Ordonnance du 1er juillet 1988 sur la protection des eaux contre les liquides pouvant les altérer (OPEL) (Etat au 15 décembre 1998)

[38] CONCAWE, environmental classification of petroleum substances – summary data and rationale, report Nr. 01/54, Brussels, Octobre 2001 (vgl. www.concawe.org)

[39] CONCAWE, classification and labeling of petroleum substances according to the EU dangerous substances directive (CONCAWE recommendations – July 2005), report no. 6/05, Brussels, August 2005 (vgl. www.concawe.org)

[40] SOCIÉTÉ SUISE DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES; Norme SIA 260, Bases pour l'élaboration des structures porteuses, édition 2003

Annexe 2

Glossaire

Glossaire

Ampleur des dommages
A la suite d'un accident majeur, la population et l'environnement subissent divers types d'atteintes (rayonnement de chaleur, pollution des eaux, onde de choc). Il en résulte des dommages, dont la gravité est caractérisée par la notion d'«ampleur des dommages».

Déflagration
Explosion relativement lente d'un mélange inflammable de gaz et d'air, dont la surpression initiale dépend de la nature du gaz, de l'importance de la masse explosible et des conditions locales (0,3 bar pour une explosion partiellement confinée d'un nuage de gaz, 7 bar pour une explosion dans une canalisation).

Détonation
Explosion se déroulant extrêmement rapidement et par choc d'un mélange inflammable de gaz et d'air, au cours de laquelle le front de la flamme atteint des vitesses supersoniques. La pression initiale maximale et celle de l'onde de choc peuvent atteindre des valeurs très élevées, notamment dans les tuyaux de petit calibre.

Explosion
L'explosion est un terme général qui désigne la libération très soudaine d'énergie consécutive à une réaction rapide d'oxydation et de désintégration. Elle occasionne une rapide élévation de température ainsi que des ondes de pression et de choc. Dans le présent rapport, ce terme désigne aussi bien la déflagration que la détonation.

Canalisation
Par canalisations, on entend ici aussi bien les égouts de l'entreprise que les égouts publics. Lors de l'estimation des dommages potentiels, seules représentent un intérêt les canalisations de l'installation ou du domaine public attenant au site, auxquelles il pourrait être porté atteinte (en général les canalisations destinées aux eaux météoriques).

Létalité
Par létalité, on entend le nombre de personnes d'un groupe dûment défini mortellement atteintes lors d'un événement externe (p.ex. produit toxique, incendie, onde de choc). En ce qui concerne les personnes présentes lors d'un accident majeur dans une installation de stockage, c'est la létalité due au rayonnement de chaleur ou à l'onde de choc qui est déterminante.

Rayon de létalité
La distance depuis le centre d'un accident majeur jusqu'au lieu d'une létalité donnée est appelée «rayon de létalité». Une létalité de 50% à 100 m de distance (R_{50} = 100 m) signifie donc qu'à une distance de 100 m du lieu de l'accident majeur, 50% des personnes présentes sont mortellement blessées. Plus les personnes sont proches du point de l'accident, plus elles sont en danger. A titre de simplification, il n'est tenu compte dans le présent rapport que des rayons de létalité de 1%, 50% et 99%.

Indicateur de dommages
Les indicateurs permettent de décrire et de mesurer de manière uniforme l'ampleur des dommages potentiels que peuvent subir l'environnement ou les personnes à la suite d'un accident majeur. L'utilisation d'indicateurs de dommages permet notamment de décrire de manière assez claire les dommages produits par presque tous les types d'accidents majeurs et, de ce fait, de faire une comparaison entre les diverses installations. Les indicateurs sont fixés comme suit dans les directives de l'OFEFP sur les critères d'appréciation [1]:

n_1	nombre de décès	atteintes aux personnes
n_2	nombre de blessés	atteintes aux personnes
n_3	eaux superficielles	pollution d'eaux superficielles
n_4	eaux souterraines	captages d'eau potable hors service
n_5	sol	atteintes à la fertilité du sol
n_6	biens matériels	dégâts matériels de l'ordre du mio. Fr.

Accident majeur
Dans le présent rapport, on désigne comme tel tout événement extraordinaire dans lequel des hydrocarbures sont libérés de manière incontrôlée, et qui a des conséquences graves hors de l'aire de l'entreprise.

Scénario d'accident majeur
Enchaînement supposé de causes et de conséquences, basé sur les données réelles concernant l'exploitation et le voisinage, pouvant entraîner des conséquences graves, voire des dommages à la population ou à l'environnement.

Indice d'accident majeur
L'indice d'accident majeur est une norme caractérisant l'ampleur des dommages telle qu'elle a été calculée; cet indice se situe pour tous les indicateurs entre 0 et 1; sa conversion est fixée dans les directives de l'OFEFP [1]. Cet indice permet d'estimer la gravité d'un accident majeur. Dans le cas d'un accident grave - un type d'accident où on ne peut a priori exclure que des dommages soient infligés à la population et à l'environnement - la limite se situe à l'indice 0,3.

Annexe 3

Ampleur des dommages correspondant à l'indice d'accident majeur 0,3
selon les directives de l'OFEFP

Ampleur des dommages correspondant à l'indice d'accident majeur 0,3 selon les directives de l'OFEFP [1]

Indicateur	valeur limite pour l'indice 0.3	Ampleur des dommages pour l'indice 0.3* Essence	mazout / kérosène / diesel
n_1 décès	10 décès	**incendie: 15 pers. en R_{50} ou**	**67 pers. entre R_1 et R_{50}**
		explosion: 14 pers. en $R_{0.48}$	**explosion impossible**
n_2 blessés	au niveau du rapport succinct, les blessés ne sont pas pris en considération		
n_3 eau superficielle	pollution de 10^6 m^3 ou 1 km^2 (10^6 m^2) par pollution on entend: A) > 15 g hydrocarbures par m^2 de surface d'eau B) > LC_{50} pour l'Ide mélanote[1] (selon tab. 2.3) sans Pb 95 = 2-120 mg/l sans Pb 98 = 2 mg/l mazout EL = 120-264 mg/l kérosène = 120-175 mg/l diesel = 120-160 mg/l	densité: essence: ρ = 720-770 kg/m^3 A) **quantité nécessaire: 15 t** vol. essence: 19-21 m^3 B) **quantité nécessaire: [1]** **sans Pb 95: 2-120 t** Volumes: 2.5 - 167 m^3 sans Pb 98 2 t Volumes 2.5 m^3	densité: mazout: ρ = 860 kg/m^3 kérosène: ρ = 750-850 kg/m^3 diesel: ρ = 815-855 kg/m^3 A) **quantité néces.: 15 t** vol. mazout: 17 m^3 vol. kérosène: 17-20 m^3 vol. diesel: 17-18 m^3 B) **quantité nécessaire:[1]** **mazout: 120-264 t** Volumes: 140-307 m^3 **kérosène: 120-175 t** Volumes: 141-233 m^3 **diesel: 120-160 t** Volumes: 140-196 m^3
cas B) important seul.dans cas exceptionnel (p.ex. dans eau piscicole importante)			
n_4 eau souterraine	captage souterrain hors service dans rayon de 10^4 mois-personnes [PM] mise hors service quand: • concentration dans captage > val. limite selon art. 275 ODAI	valeur limite: 20 mg/m^3 consommation d'eau: 400l/Pd 10'000 PM = 120'000 m^3 **Quantité nécessaire: 2.4 kg** volume d'essence: env. 3.1-3.4 l	valeur limite: 20 mg/m^3 consommation d'eau: 400l/Pd 10'000 PM = 120'000 m^3 **Quant. nécessaire: 2.4 kg** vol. mazout: env. 2.8 l vol. kérosène: env. 2.8-3.2 l vol. diesel: env. 2.8-2.9 l
n_6 dégâts matériels	Dégâts matériels de 50 mio. Fr. applicable pour des dégâts: • hors du site de l'entreprise • à des infrastructures, ouvrages, etc. pas applicable aux coûts: • d'assainissement • d'évacuation, etc.	Dégâts matériels suite à une explosion dans l'égout, limite d'inflammabilité: 0.6-8 Vol% coûts supposés: - env. 1000.-/m canalisation - dégâts infrastructure:selon affectation, construction **longueur de la canalisation détruite: 50 km**	explosion impossible autres dégâts matériels de l'ordre du mio. fr. improbables

* **Les données en gras sont les quantités déterminantes pour l'indice d'accident majeur 0.3**

[1] Les valeurs peuvent être nettement plus basses pour d'autres espèces, p.ex. la truite arc-en-ciel.

Annexe 4

Evaluation sismologique d'installations de citernes verticales

Evaluation sismologique d'installations de citernes verticales

1. Introduction

Depuis des décennies, des installations de citernes verticales sont construites et exploitées en grand nombre partout dans le monde. Même si elles se distinguent les unes des autres par leurs tailles et certains détails techniques, toutes sont des constructions statiquement simples servant à stocker des hydrocarbures. Cela permet de bénéficier des expériences récoltées sur les citernes verticales dans le monde entier, notamment lorsqu'il s'agit d'évaluer les conséquences de tremblements de terre. Afin de pouvoir identifier à l'aide de critères aussi simples que possible les citernes verticales résistant aux tremblements de terre (listes de contrôle), l'OFEFP a fait faire une étude comparant les méthodes d'évaluation actuelles [31]. Les pages qui suivent présentent un résumé des résultats que l'on peut en déduire dans la perspective de l'appréciation des rapports succincts.

2. Comportement des citernes verticales lors de tremblements de terre

La spécificité d'une citerne verticale par rapport à d'autres ouvrages réside dans la proportion élevée de sa «charge utile», c'est-à-dire de la masse du produit stocké relativement à la masse totale de l'ouvrage. Le comportement d'une citerne verticale face aux effets d'un tremblement de terre dépend donc dans une large mesure de son taux de remplissage. Dans le contexte de la prévention des accidents majeurs, on évalue ces effets potentiels en considérant des citernes pleines. En cohérence avec le type de construction en usage dans l'industrie pétrolière, les considérations qui suivent s'appliquent uniquement aux citernes non ancrées. L'estimation de leur comportement lors de tremblements de terre (figure 1) nécessite des calculs sensiblement plus complexes que pour les citernes ancrées. Pour évaluer des citernes verticales ancrées, on applique des calculs simples conformément aux normes européennes.

3. Norme de dimensionnement actuelle (SIA 261 [2003])

La norme SIA 261 «Actions sur les ouvrages porteurs» (2003) [35] traite aussi, en son chapitre 16, des effets des tremblements de terre en fonction de zones sismiques définies, de la nature du sol et des classes d'ouvrages.

Selon la norme SIA 261, la Suisse est subdivisée en 4 zones sismiques Z1, Z2, Z3a et Z3b. La répartition géographique correspondante ressort de l'annexe F de la norme. A chacune de ces zones est attribuée, pour un tremblement de terre de dimensionnement (période de retour de référence de 475 ans) une valeur de calcul de l'accélération horizontale du sol. Les plus faibles accélérations sont présentes dans la zone Z1, les plus fortes dans la zone Z3b.

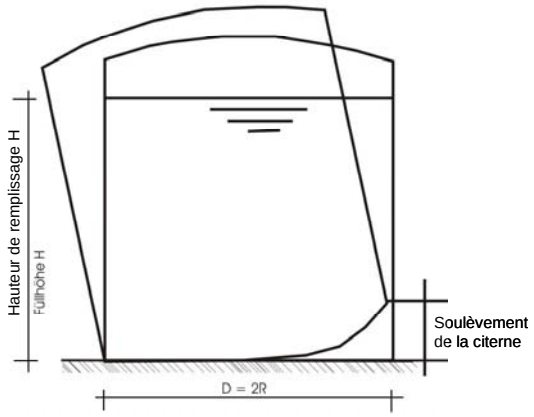


Figure 1: Soulèvement de la citerne non ancrée

L'influence de la nature du sol de fondation est prise en compte par l'intégration du site de l'installation de stockage dans une des classes de sol de fondation A à F selon le tableau 25 de la norme 261.

Selon celle-ci, il faut encore incorporer les ouvrages dont émane un danger «limité» pour l'environnement dans la classe CO II, et ceux qui présentent un danger «élevé» pour l'environnement, dans la classe CO III. Dans la présente annexe, on range dans la classe CO II les citernes contenant des produits peu inflammables (huile de chauffage, diesel, kérosène) et dans la classe CO III les citernes à essence.

Les objectifs de protection appliqués aux ouvrages sont définis dans les normes SIA 260 [40] et SIA 261 [35]. La résistance des ouvrages à la charge doit être démontrée, compte tenu du fait que la période de retour du séisme de dimensionnement pour les ouvrages sans importance particulière est de 475 ans.

Cela correspond à une probabilité d'occurrence de 10% en 50 ans. Pour les classes CO II et III, on multiplie par un facteur d'importance de resp. 1,2 et 1,4 le séisme de référence appliqué aux ouvrages de la classe CO I, ce qui prolonge la période de retour du séisme de dimensionnement à environ 800 ans pour les ouvrages de la classe CO II et 1200 ans pour ceux de la classe CO III.

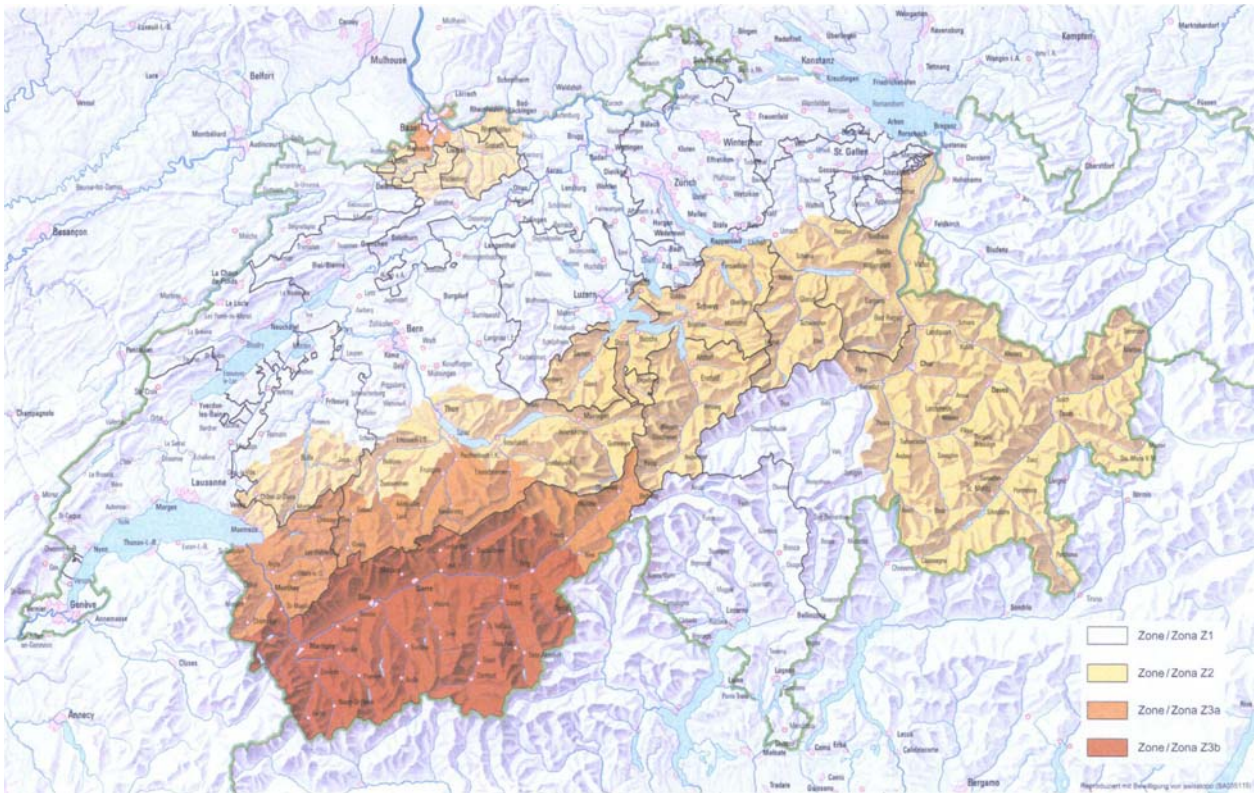


Figure 2: Aperçu des zones sismiques [35]

4. Comparaison des méthodes d'analyse

Dans l'étude citée [31], les auteurs ont recalculé en fonction des connaissances les plus récentes quelques-unes des citernes verticales non ancrées, présentant un rapport hauteur/rayon (H/R) caractéristique pour la Suisse et développées conformément aux normes SIA (construction et charges) en vigueur à l'époque. Pour ce faire, on a appliqué les méthodes suivantes:

- liste de contrôle CL2 du Zürcher Behelf «Erdbeben und Störfallvorsorge» d'octobre 2001 [32]
- l'annexe A du Eurocode (EC) 8, partie 4, état 1998 [36]. Ce code est considéré comme «l'Etat de la technique».
- le standard américain API 650, état 2000 [33]
- le calcul non-linéaire selon Malhotra (2000) [34]. Cette méthode est considérée comme «état de la science» au moment de la clôture de la rédaction du présent rapport.

Un groupe d'experts constitué d'un constructeur de citernes et de trois ingénieurs sismologues est arrivé à la conclusion qu'une citerne verticale non ancrée présente une sécurité suffisante contre les séismes dans l'optique des dommages déterminants pour un accident majeur, pour autant que l'on puisse apporter la preuve du séisme en vertu du Eurocode 8 ou d'une méthode reconnue correspondant à l'état de la science (p.ex. Malhotra). Cette conclusion apparaît aussi plausible et suffisamment conservative à la lumière des études statistiques des dommages causés par des séismes à des citernes verticales non ancrées.

Sur la base des calculs effectués, on a ensuite développé les diagrammes de flux ci-après à l'aide desquels on peut, sans calculs, trier les citernes verticales non ancrées existantes dont la sécurité sismologique suffit pour éviter des dommages de l'ordre de ceux que provoqueraient des accidents majeurs.

5. Evaluation des citernes verticales existantes

Les diagrammes de flux des figures 3, 4 et 5 s'appliquent à des citernes non ancrées existantes de construction «usuelle», le terme «usuel» ne pouvant être défini ici que de manière indirecte. «Non usuelle» serait par exemple une citerne dont le manteau aurait une hauteur sensiblement supérieure à 26 m, ou une citerne de diamètre extrêmement faible par rapport à la hauteur (rapport H/R > 4). Dans le cas des citernes de dimensions non usuelles, on peut admettre, sans preuve spécifique (voir annexe 6), qu'elles ne remplissent pas les critères de contrôle et se vident en cas de sinistre. Dans le cas des citernes ancrées, on appliquera les calculs simples selon Eurocode 8.

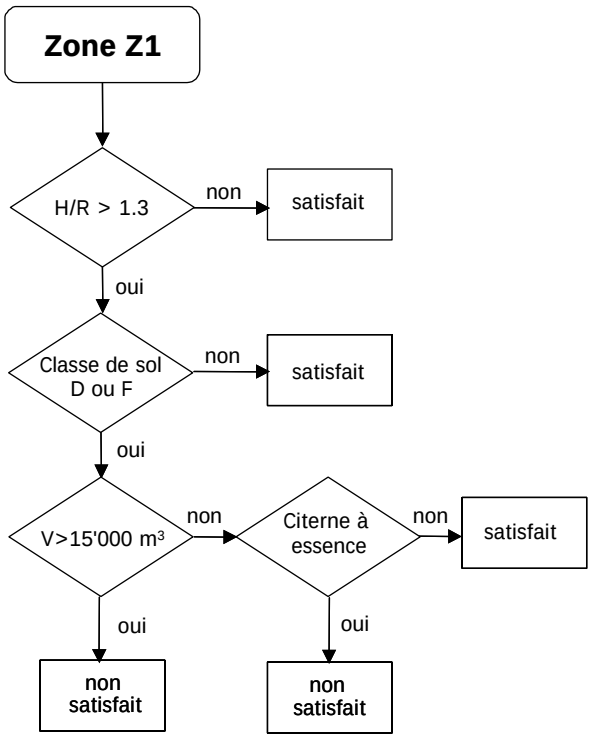


Figure 3: Diagramme de flux pour la zone Z1

Pour pouvoir garder les diagrammes de flux aussi simples et clairs que possible, on les a développés non pas pour des installations entières de stockage, mais pour des citernes considérées individuellement. Cela requiert donc d'analyser toutes les citernes d'une installation de stockage à l'aide de ces diagrammes. «Satisfait» signifie que, sans calculs complémentaires, la citerne considérée peut être qualifiée de résistante aux séismes – dans l'optique de dommages de l'ordre de ceux que provoquerait un accident majeur en vertu de la norme SIA 261 (2003) [35]. Le résultat «non satisfait» signifie que la citerne pleine ne peut pas être jugée non problématique d'emblée. Dans ces cas, la marche à suivre est celle appliquée aux citernes verticales neuves (voir annexe 6).

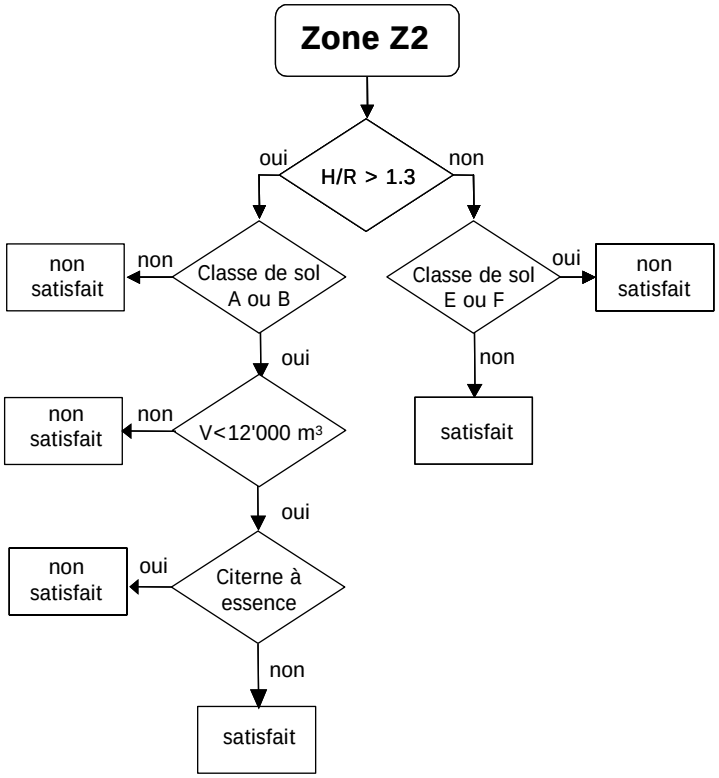


Figure 4: Diagramme de flux pour la zone Z2

La plupart des citernes en usage en Suisse résisteraient à un séisme de dimensionnement de la zone Z1. Seule exception: les citernes ayant un rapport H/R > 1,3 implantées sur un sol de fondation de classe D ou éventuellement F, qui sont en outre volumineuses ou contiennent de l'essence.

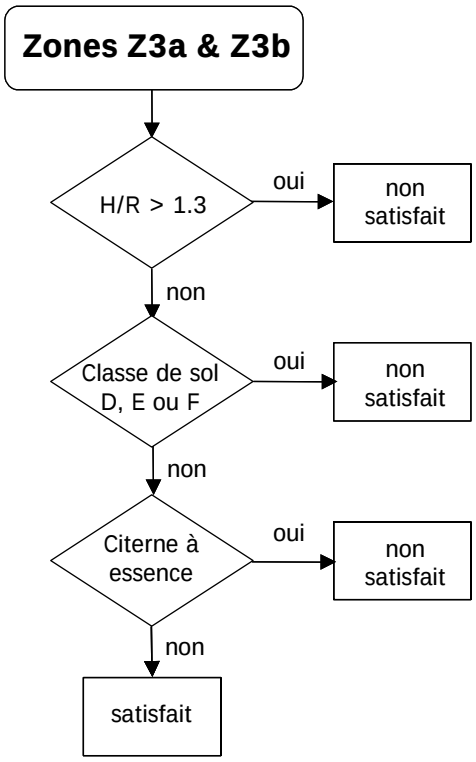


Figure 5: Diagramme de flux pour les zones Z3a & Z3b

Les citernes très ramassées résisteraient à un séisme de dimensionnement de la zone Z2 dans la mesure où elles ne se trouvent pas sur un sol de fondation de classe E ou F. Les citernes implantées dans la zone Z2 et ayant un rapport H/R > 1,3 ne sont a priori résistantes aux séismes que si elles sont implantées sur un sol de la classe A ou B (très rare!), qu'elles ne sont pas très volumineuses et, en outre, qu'elles ne contiennent pas d'essence.
Dans les zones Z3a et Z3b, seules peuvent être qualifiées a priori de résistantes aux séismes les citernes qui, tout à la fois, sont très ramassées, situées sur des sols de classe A, B ou C et ne contiennent pas d'essence.

6. Appréciation de citernes verticales neuves

Lors de la construction ou de la transformation d'une citerne verticale, il y a lieu, dans chaque cas, d'apporter une preuve détaillée de sa résistance aux séismes. Il en va de même pour les citernes verticales pour lesquelles les diagrammes de flux ci-dessus aboutissent au résultat «non satisfait».

La preuve sera établie à l'aide des calculs effectués selon Eurocode 8 [36], Malhotra [34] ou par une autre méthode adéquate, reconnue conforme à l'état de la science.

7. Bassins de rétention

En Suisse, les citernes d'hydrocarbures sont généralement installées dans des bassins de rétention. Ceux qui contiennent cinq citernes ou plus doivent avoir un volume représentant au moins la plus grande des valeurs ci-après tirées de la directive CARBURA [4] ou de l'ordonnance sur la protection des eaux contre les liquides pouvant les altérer (OPEL) [37]:

- 40 % du volume total de toutes les citernes se trouvant dans le même bassin (voir [4]) ou
- volume de la plus grande citerne se trouvant dans le bassin (voir [4] et [37]).

S'agissant des citernes verticales construites avant 1972, on applique parfois d'autres prescriptions. Si un bassin de rétention a la capacité de retenir la totalité du fluide qui s'échappe des citernes fissurées suite à un séisme, il n'en résulterait pas un dommage de l'ordre de ceux que provoquerait un accident majeur. Il s'ensuit que le dommage est non significatif dans l'optique de l'ordonnance sur les accidents majeurs, cela tant que la capacité du bassin est supérieur au volume total des citernes qui ne résisteraient pas à un séisme et aussi longtemps que le bassin de rétention reste intact. Cette condition relève du cas le plus défavorable, dans lequel toutes les citernes mises en danger par un séisme sont pleines. Demeure réservée l'appréciation de cas isolés. On peut assouplir cette condition dans la mesure où il est improbable que toutes les citernes présentant un risque soient pleines en même temps.

Le bassin peut être ceinturé de murs ou de talus en terre, ceux-ci ne devant pas pouvoir être rompus. Les ouvrages de protection sont généralement des constructions robustes, qui résistent bien aux sollicitations

inhérentes à un séisme. Les différents éléments sont dimensionnés en fonction de pressions de liquides unilatérales. La nappe d'armature extérieure des murs d'enceinte est en général quasiment aussi solide que celle qui se trouve à l'intérieur du bassin. La contrainte résultant de la pression du liquide est généralement plus grande que les forces déclenchées par un séisme. De plus, on peut admettre que les bassins sont vides au début du séisme. Les éventuelles constructions à joints doivent être en mesure d'absorber les déplacements opposés d'éléments de murs voisins sans se fissurer.

Le groupe d'experts est parvenu à la conclusion qu'en Suisse, on peut généralement admettre que les bassins de rétention situés dans les zones sismiques Z1 et Z2 restent intacts après un séisme de dimensionnement selon la norme SIA 261.

En revanche, une telle affirmation n'est plus possible dans les zones 3a et 3b. Dans ce cas, une preuve adéquate doit être apportée.

8. Marche à suivre pour les citernes ne satisfaisant pas les critères

La mention «non satisfait» dans les diagrammes de flux signifie que la citerne remplie ne peut être qualifiée de non critique a priori, et qu'une preuve individuelle est nécessaire, soit de la citerne, soit à l'aide de calculs selon EC 8 [36], Malhotra [34] ou par une autre méthode reconnue conforme à l'état de la science, dans la mesure où la capacité du bassin de rétention et/ou sa résistance aux séismes est insuffisante.

«Satisfait» signifie, en revanche, que, sans autre calcul, la citerne considérée peut être qualifiée de résistant aux séismes dans l'optique des dommages significatifs pour des accidents majeurs lorsque se présente un séisme de dimensionnement selon la norme SIA 261 (2003) [35].

9. Remarque finale

Les données sur les forces potentielles des séismes selon la norme SIA 261 sont liées à une probabilité d'occurrence de 10 % sur une période de 50 ans en vertu des pratiques internationales. La période de répétition correspondante de 475 ans est appliquée dans diverses normes de construction pour le dimensionnement d'édifices usuels (CO I selon la norme SIA 261). En choisissant la classe d'ouvrages CO II pour les citernes à mazout, ou CO III pour les citernes à essence, on augmente de facto ces valeurs. Elles s'élèvent à env. 800 ans pour la classe CO II et à env. 1200 ans pour la classe CO III.

Annexe 5

Récapitulation des mesures générales de sécurité,
formulaire pour l'application de l'article 3 de l'OPAM (rapport succinct, partie 1)

Annexe 5

Récapitulation des mesures générales de sécurité (rapport succinct, partie 1)

Sommaire:

Résumé et signature 2

Introduction et remarque préliminaire à propos de la récapitulation 3

Indications générales 4

1. Description de l'installation 5
   - 1.1 Adresses
   - 1.2. Indications relatives à l'entreprise/ installation
   - 1.3. Assurances choses et responsabilité civile entreprise
   - 1.4 Informations relatives au voisinage de l'installation
   - 1.5 Indications relatives aux autres substances stockées ainsi qu'aux déchets spéciaux
   - 1.6 Annexes 1 et 2

2. Protection contre les incendies 16

3. Autres mesures de sécurité 21

4. Organisation de l'alarme et intervention 26

5. Coordination avec d'autres domaines 29
   - 5.1 Protection des eaux (en particulier OPEL)
   - 5.2 Police du feu (en particulier AEAI)
   - 5.3 Protection contre les explosions (en particulier DeDC)
   - 5.4 Protection de l'air (en particulier OPair et récupération des vapeurs)
   - 5.5 Protection des travailleurs (loi sur le travail, loi sur l'assurance-accidents)

6. Contrôle visuel de l'adéquation du bassin 32

Annexe: Adéquation de la construction du bassin

7. Sécurité contre les tremblements de terre 36

Résumé et signature:

Entreprise:	
Adresse postale:	
Personne représentant l'entreprise: Nom: Tél.:	
Responsable de la sécurité: Nom: Tél.:	
Annexes:	
Nous certifions que les informations ci-après sont exactes et complètes: Lieu/date: Sceau de l'entreprise et signature:	

Abréviations utilisées pour les ordonnances et les directives:

CRL	CARBURA Richtlinien für Tankanlagen (Directives pour le stockage d'hydrocarbures), août 1992
OPAM	Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs, 27.2.91
OPEL	Ordonnance sur la protection des eaux contre les liquides pouvant les polluer, 1.7.98
OPair	Ordonnance sur la protection de l'air, 16.12.85

Les autres documents importants pour l'application de l'article 3 OPAM sont, par exemple, la notice 2153 de la SUVA sur la protection contre les explosions, les directives DeDC relatives aux dangers dus au courant électrique ou les directives et normes AEAI sur la protection contre l'incendie.

Introduction et remarque préliminaire à propos de la récapitulation

Situation et objectif

Afin de garantir une application uniforme de l'OPAM dans tous les cantons, un rapport-cadre sur les installations de citernes verticales destinées au stockage d'hydrocarbures avait été réalisé entre 1990 et 1992 à l'initiative de la branche concernée, représentée par la société CARBURA, et avec la collaboration des autorités fédérales et cantonales. Suite à certaines confusions dans l'évaluation des rapports, mais aussi en raison des expériences recueillies depuis lors sur les critères d'évaluation (directives de l'OFEFP, 1996), il s'est révélé nécessaire de procéder à une refonte du rapport-cadre. Les travaux - réalisés avec le soutien de la commission technique de CARBURA - ont été dirigé par l'OFEFP. Le groupe de travail, qui représentait les intérêts de tous les milieux intéressés, avait à l'origine rassemblé les résultats de ces travaux dans trois documents:

A) Documentation détaillée des éléments de base, avec présentation des matières, des scénarios pouvant entrer en ligne de compte et des conventions adoptées (août 1996, non publié);

B) Récapitulation des mesures générales de sécurité, auxiliaire d'application de l'article 3 de l'OPAM;

C) Instructions pour l'estimation de l'ampleur des dommages, y compris une récapitulation des éléments de base tirés du document A et un formulaire ad hoc.

Les documents B et C ont ensuite été réunis pour former le présent rapport. Ce sont ces documents qui servent à l'estimation d'une installation dans l'optique de la prévention des accidents majeurs. La récapitulation des me-sures générales de sécurité sert d'auxiliaire pour l'appli-cation de l'article 3 de l'OPAM. Elle permet de vérifier les équipements principaux d'une installation et les mesures prises pour assurer la sécurité de l'exploitation et la prévention contre les accidents majeurs. Elle sert en particulier de base pour estimer l'ampleur des dommages (partie principale de ce rapport), opération partant du principe que les mesures de sécurité élé-mentaires ont été prises et qu'elles sont opérationnelles.

Marche à suivre

En vertu de cette récapitulation, les mesures de sécurité doivent être enregistrées par l'exploitant de l'installation, en collaboration avec l'autorité d'application, et faire l'objet d'un procès-verbal; la meilleure solution consiste en une visite des lieux. Des questions d'ordre général servent à établir quels sont les équipements et mesures de sécurité déterminants. Pour chaque question, on indiquera si l'installation est conforme ou non aux prescriptions. Si la réponse est négative, la colonne «Remarques» permet d'ajouter des précisions sur les motifs de cette réponse, mais aussi sur les autres mesures envisageables. Ces mesures pourront ensuite être précisées et discutées lors de la visite des lieux.

But de la récapitulation

Une fois rempli, le formulaire permettra à l'autorité de décider si des mesures complémentaires sont nécessaires et, le cas échéant, où il convient de les prendre. Si d'autres mesures devaient être nécessaires, il conviendra d'élaborer avec l'exploitant un plan de mise en oeuvre, ce plan tenant compte entre autres des travaux de révision et des transformations ainsi que des aspects financiers des nouvelles mesures.

Lorsque toutes les conditions seront remplies, on pourra procéder à l'estimation des dommages potentiels à l'aide du formulaire de l'annexe 6.

Marche à suivre dans l'élaboration du rapport succinct

Deux cas peuvent se présenter dans l'élaboration du rapport succinct:

A) Installations pour lesquelles aucun rapport succinct n'existe:
Les exploitants de telles installations complètent d'abord les pages 1 à 13 de l'annexe 5 relatives aux informations générales et à la description de l'installation. Ils vérifient ensuite les mesures de sécurité en place à l'aide des chapitres 2 à 6 de l'annexe 5, puis discutent du résultat avec les autorités compétentes. Enfin, ils remplissent le présent formulaire d'estimation des dommages potentiels et le remettent à l'autorité.

B) Installations pour lesquelles un rapport succinct existe déjà:
Pour ces installations, il y a d'abord lieu de vérifier les mesures de sécurité, puis de remplir le présent formulaire. L'analyse des résultats consignés dans les deux documents peut aussi être effectuée conjointement, d'entente avec les autorités. Suivant le type d'installa-tion et l'état de la procédure d'évaluation menée par les autorités, on peut aussi envisager que seuls certains thèmes de l'estimation des dommages potentiels devront être analysés en détail. Dans ce cas, le formulaire ad hoc plus détaillé devient un complément du rapport succinct existant. Si des changements notables sont intervenus dans l'installation ou au voisinage du site de l'entreprise depuis l'établissement du rapport succinct, ils doivent être obligatoirement indiqués à la page 4.

Les exploitants d'installations pour lesquelles un rapport succinct a été établi puis analysé doivent ensuite procéder à des investigations poussées si, en raison dudit rapport, une évaluation des risques a été demandée. Cette estimation ne fait cependant pas l'objet des présents documents et doit être réalisée séparément.

Instructions:
- **Remplir les champs de couleur jaune**
- **En cas d'insuffisance de place dans les champs, veuillez continuer sur une feuille séparée brocheé/jointe au formulaire**
- **Dans les réponses oui/non, veuillez cocher ce qui convient**

Un rapport succinct a-t-il déjà été établi?	☐ oui ☐ non, à la date suivante:
Si, depuis l'établissement du rapport succinct en vertu du rapport-cadre sur les installations de stockage, édition du 1er octobre 1992, des changements notables sont intervenus dans l'installation ou au voisinage du site de l'entreprise, veuillez les indiquer ici. Veuillez joindre des copies des chapitres 1-5 et des annexes 1 et 2, ou inscrivez à nouveau toutes les indications dans le présent formulaire.	
Modifications dans l'entreprise	☐ oui ☐ non
Par exemple diminution de la quantité maximale stockée, abandon du stockage de l'essence, nouvelle affectation des citernes, diminution/augmentation des quantités transvasées, modifications dans les installations de protection contre l'incendie, quantités et types de réserves de mousses d'extinction, etc.	si oui, lesquelles?
Modification du nombre d'habitants dans la zone	☐ oui ☐ non
Par exemple construction de logements, d'usines, d'ateliers, nouvelles affectations, etc.	si oui, lesquelles?
Modifications dans l'environnement naturel	☐ oui ☐ non
Par exemple, renaturation ou correction d'un ruisseau, nouvelles zones de protection de la nature, etc.	si oui, lesquelles?
Modifications relatives à la protection des eaux	☐ oui ☐ non
Modification ou extension de secteurs de protection des eaux ou de zones/périmètres de protection des eaux souterraines.	si oui, lesquelles?

1. Description de l'installation

1.1 Adresses			
Nom de l'installation de stockage (exploitation): Rue, Localité:		Tél. N°. Fax/Mail	
Nom du propriétaire/société: Rue, Localité:		Tél. N°. Fax/Mail	
Nom du propriétaire/société: Rue, Localité:		Tél. N°. Fax/Mail	
Nom du chef de dépôt: Fonction: Rue, Localité:		Tél. N°. Fax/Mail	
Nom du responsable du rapport succinct: Fonction: Rue, Localité:		Tél. N°. Fax/Mail	
Autres personnes de contact (év. responsable de la sécurité): Fonction: Rue, Localité:		Tél. N°. Fax/Mail	
Autres personnes de contact: Fonction: Rue, Localité:		Tél. N°. Fax/Mail	

1.2 Indications relatives à l'entreprise/ installation

- **Effectif du personnel:** - exploitation / installation ____ personnes
  - administration ____ personnes
- **Plan de situations de l'installation:** Plan n° ____ Date: ____ (annexe)
- **Superficie du site:** [m²]
- **Evolution de la construction:**

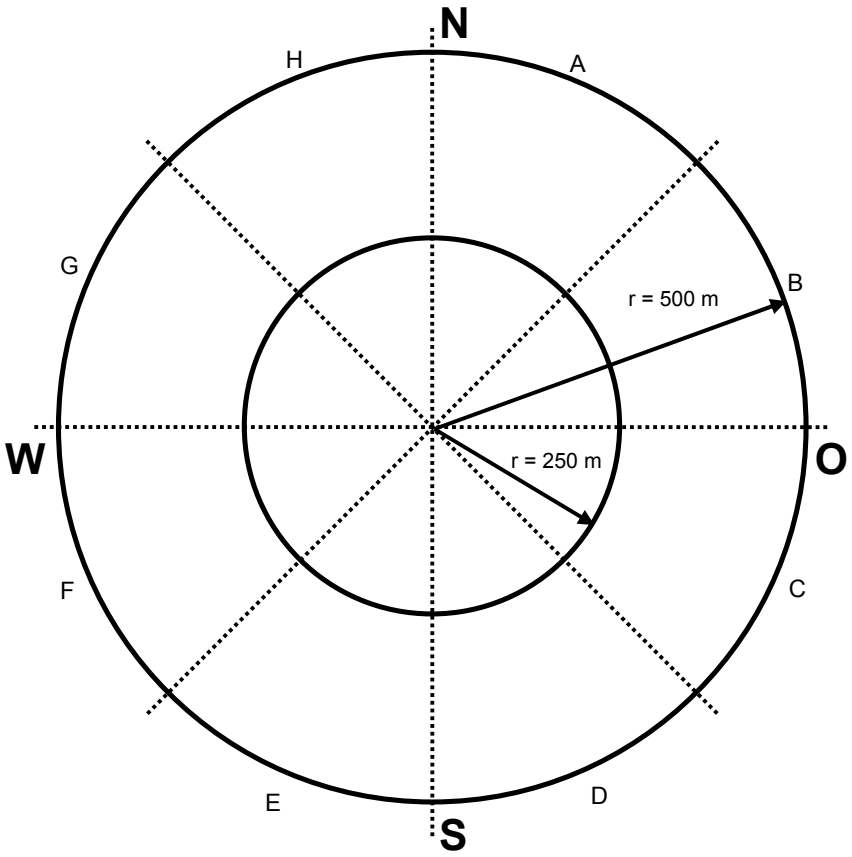
Année de construction:	Etapes:	Extensions 1	Extensions 2	Dernière réfection:	Protection des eaux:	Protection incendie:	Electricité:	Autres:
Année:				Année:				
Remarques:				Remarques:				

- **Liste de toutes les citernes réparties par bassins de rétention, numéros de citernes et capacités en annexe 1**
- **Liste des quantités max. dans l'entreprise:**

Essence sans Pb 95	[m³]	Essence sans Pb 98	[m³]	Pétrole d'aviation/ Kérosène	[m³]
Diesel	[m³]	Mazout EL	[m³]	Mazout M	[m³]
Mazout S	[m³]	Additifs	[m³]	Autres	[m³]

- **Quantités transvasées par an [m³]**

	Moyen de transport	Essence	Pétrole d'aviation	Diesel	Mazout
Mises en stock	Camion				
	Train				
	Bateau				
	Pipeline				
Déstockage	Camion				
	Train				
	Bateau				
	Pipeline				

1.3 Assurances choses et responsabilité civile entreprise	1.4 Informations relatives au voisinage de l'installation
Assurances contractées (copie des polices en annexe) Somme d'assurance:	**Plan d'ensemble** De préférence, veuillez reporter à l'échelle la rosette ci-dessous dans un plan d'ensemble et joindre celle-ci comme feuille séparée (voir aussi les instructions).
Responsabilité civile (RC):	
Assurance choses:	
Autres:	

- **Désignation des cours d'eau et des lacs** (reporter directement dans la rosette ou sur le plan d'ensemble)

- **Désignation des principales voies de communication et zones d'habitation:**

Voies ferrées:	b1:	
	b2:	
	b3:	
Routes:	s1:	
	s2:	
	s3:	
Zones d'habitation:	SG1:	
	SG2:	

- **Autres installations d'infrastructure importantes** (lignes à haute tension, pipelines, canalisations, etc.)

i1:	
i2:	

- **Ouvrages et dangers potentiels** (descriptif):

Ouvrages particuliers au voisinage selon rosette: 0 – 250 m

Secteur	Urbanisation	N°	Description ouvrage	Remarques
A 250 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
B 250 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
C 250 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
D 250 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			

Secteur	Besiedlung	N°	Description ouvrage	Remarques
E 250 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
F 250 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
G 250 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
H 250 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			

Ouvrages particuliers au voisinage selon rosette: 250 – 500 m

Secteur	Urbanisation	N°	Description ouvrage	Remarques
A 500 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
B 500 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
C 500 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
D 500 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			

Secteur	Urbanisation	N°	Description ouvrage	Remarques
E 500 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
F 500 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
G 500 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			
H 500 m	Industrie/artisanat Habitations, forte densité Habitations, faible densité Agriculture			

- **Objets naturels et zones de protection dans le secteur de l'installation** (jusqu'à 500 m)

Des zones naturelles protégées ou des biotopes dignes d'être protégés se trouvent-ils au voisinage?

Quelles eaux superficielles se trouvent-elles à proximité de l'installation (rayon de la rosette)?

Autres objets naturels particuliers:

- **Indications relatives à la géologie et à l'hydrogéologie (voir explications)**

Zone de protection des eaux	Au		Ao		Zu		ÜB
	S1		S2		S3		

Si un rapport géologique existe:

Structure et nature des couches du sol (év. annexe)

Niveau de la nappe phréatique dans la zone de l'installation: min: m d'altitude

max: m d'altitude.

Perméabilité du sol:

- **Autres indications relatives au voisinage:**

1.5 Indications relatives aux autres substances stockées ainsi qu'aux déchets spéciaux
• **Produits, indiquer en annexe 1 les quantités stockées.** Annexe 1: voir page 13 • **Déchets spéciaux s'ils tombent sous le coup de l'OPAM** (voir annexe 2 des instructions) Indiquer les quantités et les seuils quantitatifs à l'annexe 2. Annexe 2: voir page 14 Code OMoD[1], dresser à l'annexe 2 la liste des quantités de substances stockées

[1] L'Ordonnance sur les mouvements de déchets spéciaux (OMD) sera remplacée en janvier 2006 par l'ordonnance sur les mouvements de déchets (OMoD). Le code de la substance stockée doit être tiré de la liste y relative des déchets. Il y a lieu d'introduire le code de l'ordonnance en vigueur.

1.6 Annexes 1 et 2

Annexe 1: Liste des substances stockées, des citernes et des bassins

Date:
Etablie par:

Numéro du bassin de la citerne	Volume du bassin [m³]	Numéro de la citerne	Diamètre de la citerne [m]	Hauteur de la citerne [m]	Volume utile de la citerne [m³]	Type de citerne S,F,D,FM,Z,A *)	Quantité stockée par produit			
							Essence [m³]	Pétrole d'avion [m³]	Diesel [m³]	Mazout [m³]

*) S = citerne à toit flottant D = citerne pressurisée
F = citerne à toit fixe Z1 = citerne cylindrique couchée (en surface)
A = autre type de citerne Z2 = citerne cylindrique couchée (en sous-sol)
FM = citerne à toit fixe avec membrane

Annexe 2: Liste des déchets spéciaux, autres substances stockées

Date:
Etablie par:

	Code OMoD **)	Origine des déchets (branche indus-trielle)	Composants principaux, proportions, concentration	Etat d'aggrégation (s, l, g, pasteuse,	Q. max sur le site (kg ou litres)	Mode stockage/ taille (cit., fût, récipient, etc.)	N° compart. coupe-feu, lieu de stockage	Quantité stockée par compartiment	Remarques*)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

*) p.ex. classe ou numéro UN selon ADR ou SDR (ordonnance relative au transport des marchandises dangereuses par route)

**)Liste et codes des déchets spéciaux, voir note de bas de page chap. 1.5

Notations Chapitre 1:

	en ordre oui / non	*Remarques p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
2. Protection contre les incendies		
2.1 Prescriptions relatives aux distances		
Les distances minimales entre les citernes, entre les groupes de citernes et entre les citernes et les bassins sont-elles respectées? CRL C 2.1.2 CRL C 2.1.4 CRL C 2.1.5	☐ oui ☐ non	
En cas d'incendie, les bassins de rétention et les citernes sont-ils facilement accessibles? CRL C 2.1.3	☐ oui ☐ non	
Les distances réglementaires entre les diverses parties qui constituent l'installation (bâtiment d'exploitation, postes de remplissage, entrepôts de récipients et de fûts, pompes de produit) sont-elles respectées? CRL C 2.1.6.1	☐ oui ☐ non	
La hauteur des citernes (angle du bord du toit) correspond-elle aux CRL? CRL C 2.1.7	☐ oui ☐ non	
2.2 Détection		
La détection d'un incendie ou d'une fuite et le déclenchement de l'alarme sont-ils assurés? CRL F 1.4.2	☐ oui ☐ non	
2.3 Mesures de protection contre l'incendie		
Les mesures de lutte contre l'incendie sont-elles consignées dans des prescriptions ou des instructions sur le fonctionnement de l'installation? CRL F 1.4.1	☐ oui ☐ non	

	en ordre *oui / non*	*Remarques* *p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
2.4 Voies de communication et passages de fuite		
Les accès, les aires d'intervention et les chemins de fuite nécessaires pour la lutte contre un incendie sont-ils accessibles en tout temps? CRL F 1.5	☐ oui ☐ non	
2.5 Eau disponible		
La quantité d'eau disponible et la capacité des équipements d'extinction sont-elles conformes aux bases de dimensionnement prescrites dans les CRL? CRL F 2.1	☐ oui ☐ non	
Les hydrantes ou d'autres prises d'eau sont-elles en nombre suffisant et installées dans des endroits appropriés? CRL F 2.2	☐ oui ☐ non	
2.6 Refroidissement des citernes		
Les équipements destinés au refroidissement des citernes et leur capacité sont-ils conformes aux CRL? CRL F 3.1 CRL F 3.2 CRL F 3.3	☐ oui ☐ non	
2.7 Capacité des équipements de propulsion de mousse		
La capacité de propulsion de la mousse est-elle conforme aux bases de dimensionnement des CRL? CRL F 4.2.1 CRL F 4.2.2	☐ oui ☐ non	
Les équipements fixes de propulsion de mousse et leur capacité d'extinction pour les bassins et les bacs de rétention sont-ils conformes aux dispositions des CRL? CRL F 4.2.3 CRL F 5.1.2 CRL F 5.1.3	☐ oui ☐ non	

	en ordre *oui / non*	*Remarques* *p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
2.8 Beschäumungsinstallation für Pumpenhäuser und Umschlagseinrichtungen		
L'équipement en dispositifs fixes de propulsion de mousse pour les locaux des pompes et pour les équipements de transvasement est-il conforme aux dispositions des CRL? CRL F 4.2.4 CRL F 5.1.4	☐ oui ☐ non	
2.9 Installation de propulsion de mousse pour les citernes verticales		
Les citernes verticales sont-elles munies des équipements de propulsion de mousse prescrits dans les CRL? CRL F 5.1.1	☐ oui ☐ non	
Le nombre et la configuration des conduites de mousse ainsi que les organes de propulsion de la mousse destinés aux citernes verticales sont-ils conformes aux CRL? CRL F 5.3.4 CRL F 5.4.1	☐ oui ☐ non	
2.10 Consommation et réserves de mousse		
Les réserves de mousse sont-elles conformes aux dispositions des CRL relatives à la propulsion de mousse sur les citernes et les bassins? CRL F 4.3	☐ oui ☐ non	
2.11 Rétention d'eau d'extinction		
La rétention de l'eau d'extinction et son évacuation sont-elles adaptées au type d'installation? CRL F 2.3	☐ oui ☐ non	

	en ordre *oui / non*	*Remarques* *p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
2.12 Utilisation des équipements d'extinction		
Les équipements d'extinction fixes sont-ils opérationnels en tout temps, et l'emplacement des dispositifs de commande est-il accessible en permanence et sans danger? CRL F 5.2.1	☐ oui ☐ non	
2.13 Mise en marche des moyens de propulsion de la mousse		
Les moyens de propulsion sont-ils dimensionnés et aménagés de manière que les installations fixes fonctionnent dans les 5 minutes, et qu'en cas d'incendie grave, les appareils mobiles soient opérationnels dans les 15 minutes au maximum? CRL F 5.2.2	☐ oui ☐ non	
2.14 Groupe électrogène de secours		
L'installation dispose-t-elle d'un groupe électrogène de secours pour les pompes d'eau de refroidissement et pour les pompes d'eau d'extinction?	☐ oui ☐ non	
Le groupe électrogène est-il entreposé dans un endroit à l'abri du feu?	☐ oui ☐ non	

Autres remarques, informations complémentaires et explications au sujet de la protection contre l'incendie

Notations Chapitre 2:

	en ordre oui/non	*Remarques p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
3. Autres mesures de sécurité		
3.1 Surveillance et entretien		
Les équipements et l'exploitation des parties de l'installation qui sont importantes au niveau de la technique de sécurité sont-ils surveillés et régulièrement vérifiés? OPAM Ann. 2.1 i	☐ oui ☐ non	
3.2 Mesures de prévention d'incendie		
Ls travaux d'entretien et les réparations dans les domaines à risques sont-ils effectués conformément aux dispositions des CRL? CRL F 1.4.1	☐ oui ☐ non	
3.3 Evacuation des eaux résiduaires		
Est-il assuré, même en cas d'accident majeur, que les hydrocarbures, les eaux polluées par des hydrocarbures et l'eau d'extinction ne peuvent en aucun cas se propulser hors de l'installation? CRL C 6	☐ oui ☐ non	
3.4 Rétention des fuites de liquides		
La capacité de rétention et la construction des bacs de rétention pour les citernes verticales sont-elles conformes aux CRL (conditions selon OPEL, voir chiffre 4.1)? CRL C 4	☐ oui ☐ non	
3.5 Clôture		
Les installations de stockage, les places d'entreposage et les installations de transvasement sont-elles entourées d'une clôture? CRL C 5.1	☐ oui ☐ non	
3.6 Accès au site		
Pendant les heures d'exploitation, l'accès à l'installation est-il surveillé? OPAM Ann. 2.1 n	☐ oui ☐ non	

	en ordre oui/non	*Remarques p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
3.7 Dangers dus au trafic		
Des aménagements techniques adéquats protègent-ils l'installation de stockage contre les accidents de la circulation (train, route) sur le site et dans le voisinage? CRL B 4.6	☐ oui ☐ non	
3.8 Murs d'enceinte de bassins en béton		
La qualité de la construction du bassin a-t-elle été vérifiée sous l'angle de la corrosion de l'armature, la surface en béton, les joints et les fissures éventuelles? (Voir à cet effet l'annexe et le questionnaire sur les points susmentionnés en vue de vérifier la construction du bassin, ainsi que les instructions pour l'évaluation et pour la suite des opérations). OPAM Ann. 2.1 d	☐ oui ☐ non	
3.9 Organes de fermeture et soupapes des citernes		
La disposition et l'équipement des organes de fermeture sont-ils conformes aux CRL? CRL F 5.3.3	☐ oui ☐ non	
Les organes de fermeture et les soupapes des citernes sont-ils conformes à l'état de la technique, au sens des CRL? CRL E 3.3	☐ oui ☐ non	
Questions complémentaires:		
3.10 Dérivation et stockage des fuites d'hydrocarbures et de l'eau d'extinction		
Les bassins sont-ils assez grands? Dans le cas contraire, y a-t-il des exutoires ou des équipements fixes de dérivation vers des bassins de rétention proches?	☐ oui ☐ non	
Ces équipements fonctionnent-ils aussi en cas d'accident majeur? OPEL	☐ oui ☐ non	

	en ordre oui/non	*Remarques p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
3.11 Evacuation des eaux résiduaires		
Existe-t-il un plan d'évacuation des eaux résiduaires et des égouts tenu à jour?	☐ oui ☐ non	
L'eau des bassins, des places de transvasement et des lieux d'entreposage peut-elle être dirigée sur un séparateur d'huiles?	☐ oui ☐ non	
3.12 Surveillance de l'installation		
Pendant les heures d'exploitation, le site est-il surveillé en permanence par une présence humaine?	☐ oui ☐ non	
Le site est-il surveillé en dehors des heures d'exploitation?	☐ oui ☐ non	
3.13 Fonctionnement de la centrale de protection contre l'incendie		
La manœuvre du système de commande de l'ensemble de l'installation est-elle aussi garantie en cas d'incendie?	☐ oui ☐ non	
3.14 Conduites de remplissage et de soutirage		
Les conduites de remplissage et de soutirage sont-elles installées de manière à supporter les déformations (tremblement de terre, variations de température), sans pour autant perdre leur étanchéité?	☐ oui ☐ non	

	en ordre *oui/non*	*Remarques* *p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
Remarques, informations complémentaires et explications au sujet des mesures de sécurité		

Notations Chapitre 3:

	en ordre oui/non	*Remarques p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
4. Organisation de l'alarme et intervention		
4.1 Plan de sécurité		
Existe-t-il un plan de sécurité pour l'ensemble de l'installation?	☐ oui ☐ non	
Existe-t-il un cahier des charges consacré à la prévention des accidents majeurs (c.-à-d. des instructions de service sur la marche à suivre en cas d'accident majeur)?	☐ oui ☐ non	
4.2 Plan d'intervention		
Le plan d'intervention a-t-il été réalisé en collaboration avec les services publics d'intervention (notamment durée de l'attente jusqu'à leur arrivée, l'accès au site, les points d'approvisionnement en eau, l'approvisionnement en eau de secours et le recours aux réserves régionales de produits extincteurs)? CRL F 1.1 a CRL F 4.3.3 OPAM Ann. 2.1 o	☐ oui ☐ non	
4.3 Sécurité de l'installation et déclenchement de l'alarme		
L'effectif du personnel en présence ou les équipements nécessaires permettent-ils d'assurer en tout temps la sécurité de l'installation et le déclenchement de l'alarme auprès des forces d'intervention? CRL F 1.6 OPAM Ann. 2.1 h	☐ oui ☐ non	
4.4 Exercices pratiques		
Le corps des pompiers connaît-il les détails du site et procède-t-il régulièrement à des exercices pratiques sur le site même? CRL F 1.1 c	☐ oui ☐ non	

	en ordre *oui/non*	*Remarques* *p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
4.5 Instructions de service		
Le personnel de l'entreprise suit-il régulièrement des cours consacrés à la lutte contre l'incendie sur le site de l'entreprise et à l'usage des matières dangereuses (rétention des matières dangereuses, instruction sur les appareils d'extinction et de lutte contre les accidents avec des hydrocarbures)? CRL F 1.1 b OPAM Ann. 2.1 m, l	☐ oui ☐ non	

Autres remarques, informations complémentaires et explications au sujet de l'organisation de l'alarme et de l'intervention

Notations Chapitre 4:

	en ordre oui/non	*Remarques p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
5. Coordination avec d'autres domaines Selon l'article 15 de l'OPAM, les cantons coordonnent les inspections d'entreprises découlant de cette ordonnance et d'autres directives. Ci-après, on trouvera une récapitulation des principaux secteurs qui doivent aussi être contrôlés sur les sites de stockage, mais qui ne sont pas directement assujettis à la prévention contre les accidents majeurs. Il convient d'indiquer si les conditions sont remplies, si des mesures complémentaires ont été prises ou sont en voie de réalisation et, le cas échéant, quelles sont ces mesures.		
5.1 Protection des eaux (en particulier OPEL) Les conditions dictées par les dispositions de protection des eaux sont-elles satisfaites?	☐ oui ☐ non	
5.2 Police du feu (en particulier AEAI) Les conditions dictées par les dispositions relatives aux mesures de sécurité relevant de la police du feu sont-elles satisfaites?	☐ oui ☐ non	
5.3 Protection contre les explosions (en particulier DeDC) L'installation est-elle régulièrement contrôlée par l'Inspection fédérale des installations à courant fort (IFICT) ou par d'autres organes de contrôle habilités ainsi que par la (CFST) et ses organes (SUVA, etc.)?	☐ oui ☐ non	
Existe-t-il, pour l'ensemble de l'installation, notamment un plan des zones-Ex tenu à jour?	☐ oui ☐ non	

	en ordre oui/non	*Remarques p.ex. autres mesures, documents complémentaires*
5.4 Protection de l'air (en particulier OPair et récupération des vapeurs)		
Les conditions dictées par la protection de l'air sont-elles remplies?	☐ oui ☐ non	
Des mesures de sécurité particulières ont-elles été prises en vue de répondre aux exigences de l'OPair (voir p.ex. le catalogue des critères de l'OFEFP sur la réception des dépôts d'essence après l'installation de la récupération des vapeurs)? CRL F 7	☐ oui ☐ non	
5.5 Protection des travailleurs (loi sur le travail, loi sur l'assurance-accidents)		
Les conditions dictées par la sécurité du travail sont-elles remplies?	☐ oui ☐ non	

Remarques, informations complémentaires et explications relatives à la coordination avec d'autres secteurs

Notations Chapitre 5:

	oui / non	*Défauts mineurs*	*Défauts majeurs, remarques*
6. Contrôle visuel de l'adéquation du bassin			
6.1 Contrôle de la surface en béton			
A) Eclatements			
La surface en béton présente-t-elle des éclatements ou est-ce que la couche supérieure s'écaille?	☐ oui ☐ non		
B) Armature			
Y a-t-il de la rouille ou des taches de rouille visibles à la surface du béton? L'armature en acier est-elle apparente par endroits?	☐ oui ☐ non		
C) Dépôts			
A la surface du béton, remarque-t-on des décolorations marquantes dues à des dépôts de sels (ce qu'on nomme efflorescences) ou de calcaire?	☐ oui ☐ non		
D) Fissures			
Peut-on déceler des fissures suintantes ou des fissures largement ouvertes (plus de 0,5 mm)?	☐ oui ☐ non		
E) Déséquilibre			
Le couronnement du mur s'est-il déplacé de plus de 1/150' de la hauteur par rapport à la base du mur?	☐ oui ☐ non		
6.2 Joints et fond du bassin			
Les joints intérieurs et extérieurs du béton sont-ils étanches? Le sol est-il étanche?	☐ oui ☐ non		
Remarques, informations complémentaires et explications sur la qualité de la construction du bassin			

Notations Chapitre 6:

Annexe: Adéquation de la construction du bassin

Marche à suivre

Vu qu'il n'est pas possible de simplement répondre par oui ou par non à la question sur l'adéquation de la construction du bassin, les principaux points à contrôler font l'objet d'un formulaire spécial. Il est conseillé d'effectuer un contrôle visuel de la construction du bassin tous les 10 ans, mais au moins après 25 ans. Le contrôle consiste surtout en une visite des lieux avec examen visuel de tous les murs du bassin; il peut être utile de vérifier aussi les rapports sur l'état du bassin. A l'aide du formulaire ci-après, ce travail prend environ une journée de travail. Pour chacun des murs constituant un bassin, il conviendra d'examiner et d'évaluer les points mentionnés sur le formulaire. Un premier contrôle peut être effectué par l'exploitant lui-même (ou par l'ingénieur de la société). C'est seulement en cas d'incertitudes dans l'appréciation ou s'il s'agit de constater des dommages importants qu'il est recommandé de faire appel à un bureau d'ingénieurs spécialisé. Dans ce cas, il est conseillé de contrôler aussi les plans et les calculs. Ensuite, on procédera à l'analyse des résultats.

Les résultats devront être consignés sur une feuille à part, et ils seront conservés dans l'entreprise avec le formulaire sur l'estimation de l'ampleur des dommages. Sur demande, ces documents pourront ainsi être facilement présentés à l'autorité d'exécution.

Termes importants

Migration de carbonate de calcium

Processus chimique dû à l'apport, dans le béton, d'air contenant de l'acide carbonique. L'eau contenue dans les pores forme de l'acide carbonique qui réagit avec le ciment du béton. Il en résulte une baisse du pH du béton qui passe ainsi de 13-14 (sa valeur normale) à moins de 9. A cause de ce phénomène l'armature en acier perd sa couche d'oxyde protectrice et peut se corroder.

Eclatement/Desquamation

Les produits de corrosion présentent un volume plus grand que l'acier. Cette dilation produit une pression qui fait éclater la couche de béton recouvrant l'armature. Selon l'étendue de la corrosion, le béton va éclater localement ou se desquamer en pellicules.

Déséquilibre

Par ce terme, on désigne le déplacement horizontal de la crête du mur d'un bassin par rapport à la hauteur du mur. Le déséquilibre maximal de h/150 signifie, dans le cas d'un mur de 3 m de hauteur, que le déplacement de la crête ne doit pas dépasser 2 cm (= 300 cm : 150) par rapport à la verticale.

Explications complémentaires sur le processus de vieillissement des parois d'un bassin en béton armé

En général, la résistance des parois d'un bassin en béton armé n'est pas source de problèmes, même à long terme. Toutefois, une évaluation statistique des expériences faites jusqu'ici montre - et elle concorde avec les travaux de recherche - que la conjonction défavorable de certains facteurs, telle la *migration de carbonate de calcium*, peut provoquer des dommages sérieux (exemples: couche de béton insuffisante, mise en oeuvre du béton mal exécutée, combinaison d'influences extérieures).

Indépendamment de la migration du carbonate de calcium, d'autres facteurs peuvent provoquer la corrosion de l'armature (exemples: éclaboussures d'eau salée d'une route proche pendant l'hiver, joints de dilatation, fissures larges et suintantes).

Dans certains cas, la couche de béton peut en outre se désagréger (p.ex. par dégagement de sulfate) sans que l'armature en acier soit corrodée.

On peut résumer ces explications de la manière suivante:

- L'acier et le béton subissent un vieillissement dans lequel les conditions de mise en oeuvre et les influences extérieures jouent un rôle important. Les dégâts se développent de diverses manières, de ce fait on ne peut pas en prédire l'évolution. Toutefois, cette évolution est graduelle et elle est accompagnée de signes précurseurs qui permettent de déceler les dommages à temps.
- Selon les statistiques, on peut admettre que les dommages dus à la corrosion provoquée par la migration de carbonate de calcium n'apparaissent généralement pas avant dix ans. Il y a bien des chances qu'ils ne surviendront jamais si le carbonate n'a pas atteint l'armature après une quarantaine d'années.
- Il est possible de prolonger considérablement la durée de vie d'un bassin sous l'angle de sa sécurité à condition de déceler les dégâts assez tôt et de prendre les mesures qui s'imposent.

7. Sécurité contre les tremblements de terre

Les facteurs d'influence déterminants dans l'évaluation de la sécurité contre les tremblements de terre sont la situation géographique (zones de risque sismique), les conditions géologiques sur le site de l'installation (nature du sol), la géométrie (rapport entre hauteur et rayon H/R) et le volume des citernes. Indépendamment de cela, les conduites d'hydrocarbures menant aux citernes et en sortant doivent également répondre aux exigences.

Zones de risque sismique
En vertu de la norme SIA 261, Actions sur les ouvrages porteurs, édition 2003, la Suisse est subdivisée en 4 zones de risque sismique Z1, Z2, Z3a et Z3b. Ces zones ont été définies sur la base de la sismicité historique et actuelle, et adaptées aux frontières politiques.

Nature du sol de fondation
L'influence de la nature du sol est prise en compte par l'intégration du site de l'installation de stockage dans une des classes d'ouvrage A à F selon le tableau 25 de la norme SIA 261.

Géométrie
Les paramètres déterminants sont, d'une part, le rapport entre la hauteur de l'enveloppe de la citerne à son rayon, et d'autre part, la grandeur absolue de la citerne (capacité).

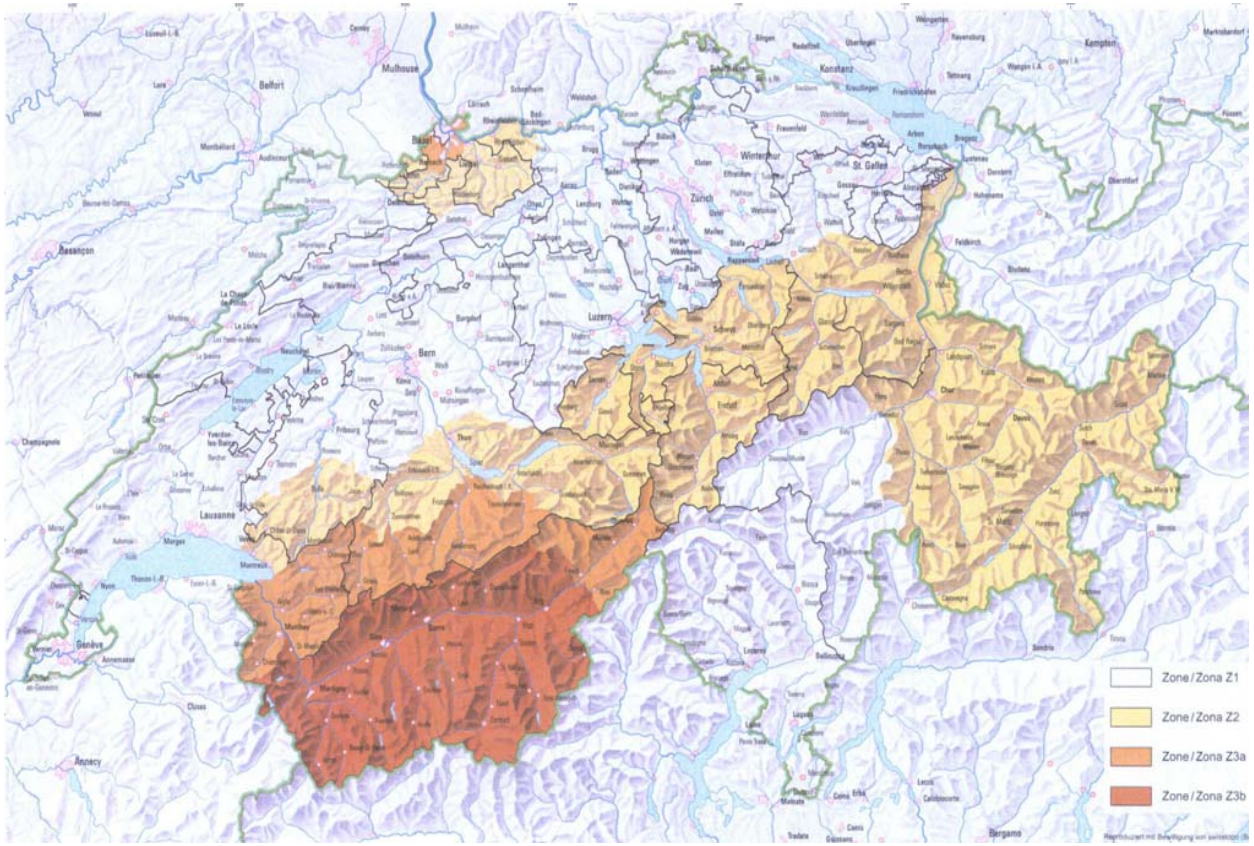


Figure 1: Carte des zones de risque sismique selon la norme SIA 261 [35]

		Veuillez cocher la mention qui convient *Veuillez compléter*
7.1 Dimensions de la citerne verticale Dimensions des citernes: hauteur H, rayon R, rapport H/R		Les indications doivent être récapitulées dans le tableau ci-après ou sur une feuille annexée. Feuille séparée (oui ou non) ☐ oui ☐ non

	Citerne n°	Hauteur H [m]	Rayon R [m]	Rapport H/R	Volume [m^3]
(1)					
(2)					
(3)					
(4)					
(5)					
(6)					
(7)					
(8)					
(9)					
(10)					
(11)					
(12)					
(13)					
(14)					
(15)					

		Veuillez cocher la mention qui convient		
7.2 Classe de sol de fondation Sur quel genre de sol se trouve l'installation? Classification selon la norme SIA 261, Actions sur les ouvrages porteurs, édition 2003, chapitre 16.2.2, tableau 25 Dans le cas de la classe de sol de fondation F ainsi que pour les sites dont le sol ne peut être attribué à une des classes du tableau 25 de la norme SIA 261 [35], des études spécifiques sont nécessaires en vue de déterminer l'impact d'un séisme Pour les principales agglomérations suisses, l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) établit des cartes à l'échelle 1:25'000, qui représentent l'étendue des différentes classes de sol de fondation selon SIA 261 (état déc. 03).		Existe-t-il des informations fiables? (oui ou non)		☐ oui ☐ non
		Classe de sol	Description	
		A	Roche dure (p.ex. granite, gneiss, quartzite, calcaire siliceux, calcaire) ou tendre (p.ex. grès, Nagelfluh, marne jurassique, argile opalinus), sous une couverture de terrain meuble d'une épaisseur maximale de 5 m	☐
		B	Dépôts étendus de sable et de gravier cimentés et/ou sol meuble préconsolidé d'une épaisseur supérieure à 30 m	☐
		C	Dépôts de sable et gravier normalement consolidés et/ou matériau morainique d'une épaisseur supérieure à 30 m	☐
		D	Dépôts de sable fin non consolidé, de limon et d'argile d'une épaisseur supérieure à 30 m	☐
		E	Couche alluviale superficielle des classes de sols de fondation C ou D, d'une épaisseur de 5 à 30 m reposant sur une couche plus compacte des classes de sols de fondation A ou B	☐
		F	Dépôts à structure sensible et organiques (p.ex. tourbe, craie lacustre, masses glissées), d'une épaisseur supérieure à 10 m	☐

		Veuillez cocher la mention qui convient		
7.3 Situation géographique (zones de risque)				
Dans quelle zone de risque se situe l'installation? Carte selon norme SIA 261, Actions sur les ouvrages porteurs, édition 2003, Annexe F		Zone Z1	☐	si oui, continuer sous 7.4
		Zone Z2	☐	si oui, continuer sous 7.5
		Zone Z3a	☐	si oui, continuer sous 7.6
		Zone Z3b	☐	si oui, continuer sous 7.6
		Remarques:		

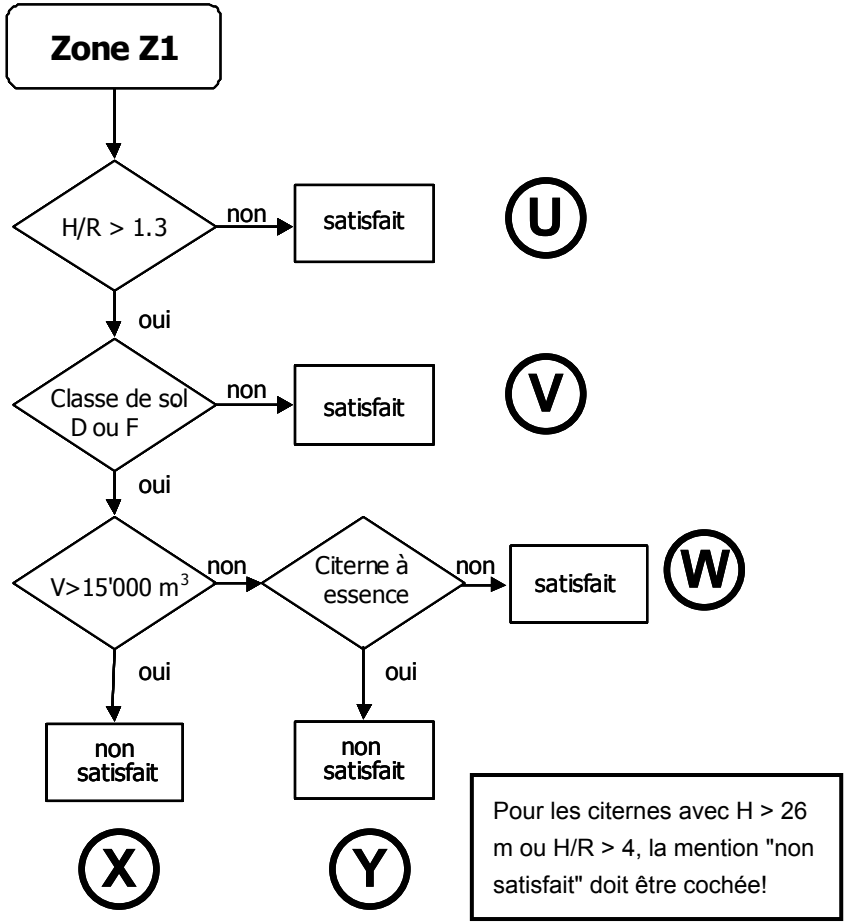
Veuillez cocher la mention qui convient

Veuillez compléter

7.4 L'installation es située em zone Z1

7.4.1 Evaluation de la citerne

Les indications doivent être récapitulées dans le tableau ci-après ou sur une feuille annexée.



Feuille séparée (oui ou non) ☐ ja ☐ nein

	Citerne n°	Voie U/V/W/X/Y	satisfait	non satisfait
(1)			☐	☐
(2)			☐	☐
(3)			☐	☐
(4)			☐	☐
(5)			☐	☐
(6)			☐	☐
(7)			☐	☐
(8)			☐	☐
(9)			☐	☐
(10)			☐	☐
(11)			☐	☐
(12)			☐	☐
(13)			☐	☐
(14)			☐	☐
(15)			☐	☐

Les citernes désignées comme "non satisfait" doivent subir une analyse complémentaire selon 7.4.2.

Veuillez cocher la mention qui convient

Veuillez compléter

7.4.2 Comparaison entre volume libéré et volume retenu

La capacité de chacun des bassins de rétention est-elle suffisante pour pouvoir retenir le volume de la citerne qu'il entoure et désignée comme "non satisfait"?

Les indications doivent être récapitulées dans le tableau ci-après ou sur une feuille annexée.

Feuille séparée (oui ou non) ☐ oui ☐ non

Bassin	Capacité F [m³]	Non satisfait Citerne n°	Contenu I_i [m³]	Contenu cumulé ΣI_i [m³]	$F > \Sigma I_i$ Oui/Non
					☐ oui ☐ non
					☐ oui ☐ non
					☐ oui ☐ non
					☐ oui ☐ non

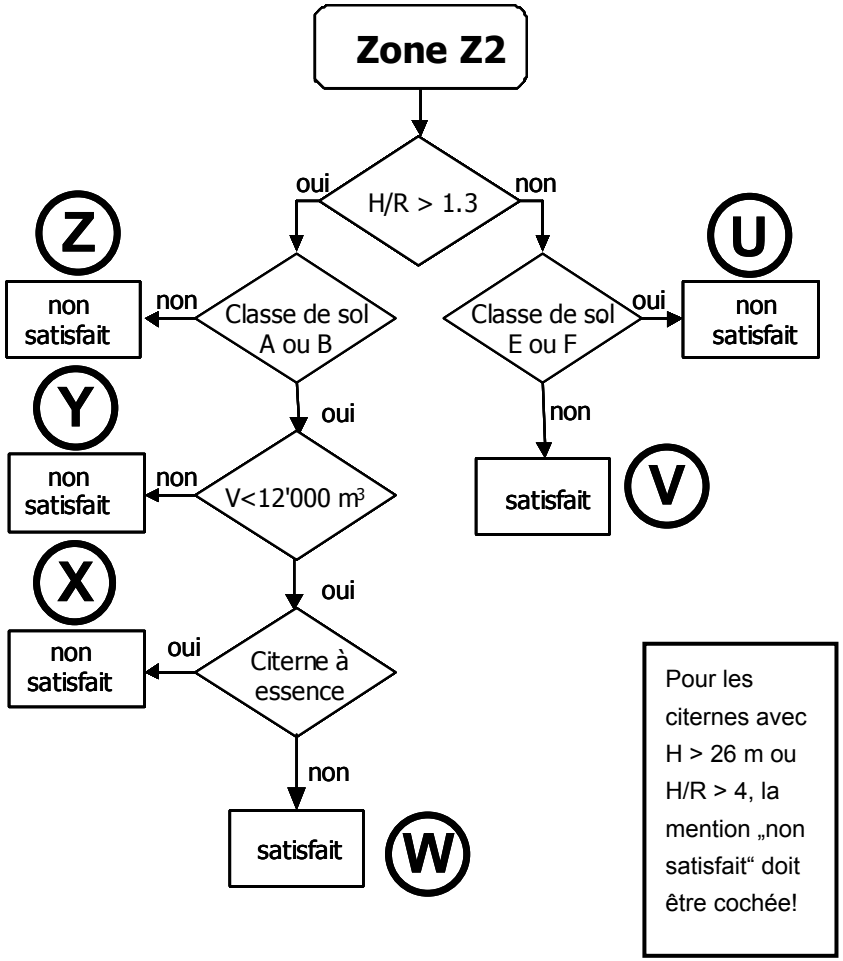
Le résultat est à reporter au chapitre 7.7.

Veuillez cocher la mention qui convient

Veuillez compléter

7.5 L'installation est située en zone Z2

7.5.1 Evaluation de la citerne



Les indications doivent être récapitulées dans le tableau ci-après ou sur une feuille annexée.

Feuille séparée (oui ou non) ☐ oui ☐ non

	Citerne n°	Voie U/V/W/X/Y/Z	Satisfait	Non satisfait
(1)			☐	☐
(2)			☐	☐
(3)			☐	☐
(4)			☐	☐
(5)			☐	☐
(6)			☐	☐
(7)			☐	☐
(8)			☐	☐
(9)			☐	☐
(10)			☐	☐
(11)			☐	☐
(12)			☐	☐
(13)			☐	☐
(14)			☐	☐
(15)			☐	☐

Les citernes désignées comme "non satisfait" doivent subir une analyse complémentaire selon 7.5.2.

		Veuillez cocher la mention qui convient *Veuillez compléter*
7.5.2 Comparaison entre volume libéré et volume retenu La capacité de chacun des bassins de rétention est-elle suffisante pour pouvoir retenir le volume de la citerne qu'il entoure et désignée comme "non satisfait"?		Les indications doivent être récapitulées dans le tableau ci-après ou sur une feuille annexée.
		Feuille séparée (oui ou non) ☐ oui ☐ non

Bassin	Capacité F [m³]	Non satisfait Citerne n°	Contenu I_i [m³]	Contenu cumulé ΣI_i [m³]	$F > \Sigma I_i$ Oui/Non
					☐ oui ☐ non
					☐ oui ☐ non
					☐ oui ☐ non
					☐ oui ☐ non

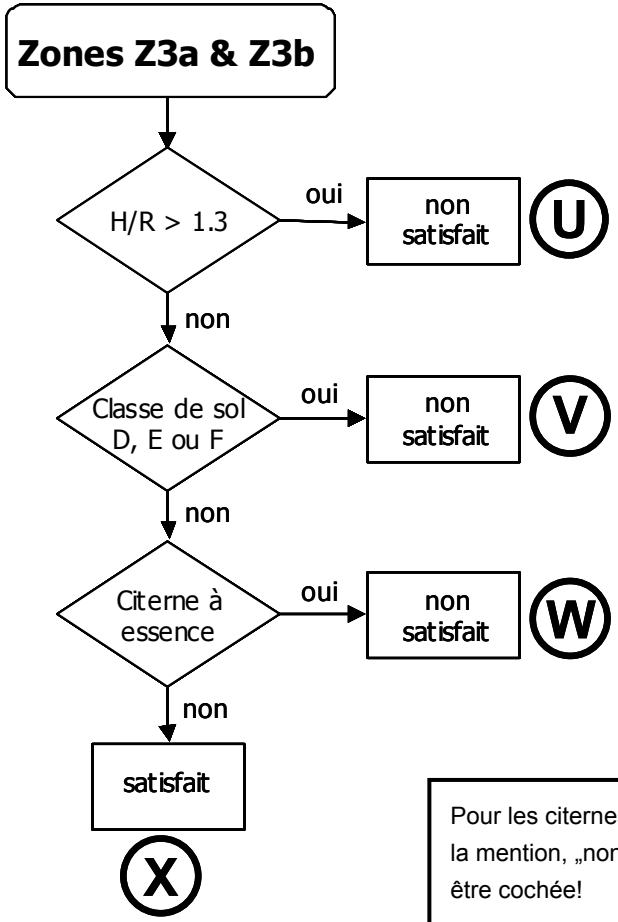
Le résultat est à reporter au chapitre 7.7.

Veuillez cocher la mention qui convient

Veuillez compléter

7.6 L'installation est située en zone Z3a ou Z3b

7.6.1 Evaluation de la citerne



Pour les citernes avec H > 26 la mention, „non satisfait" doit être cochée!

Les indications doivent être récapitulées dans le tableau ci-après ou sur une feuille annexée.

Feuille séparée (oui ou non) ☐ oui ☐ non

	Citerne n°	Voie U/V/W/X	Satisfait	Non satisfait
(1)			☐	☐
(2)			☐	☐
(3)			☐	☐
(4)			☐	☐
(5)			☐	☐
(6)			☐	☐
(7)			☐	☐
(8)			☐	☐
(9)			☐	☐
(10)			☐	☐
(11)			☐	☐
(12)			☐	☐
(13)			☐	☐
(14)			☐	☐
(15)			☐	☐

Les citernes désignées comme "non satisfait" doivent subir une analyse complémentaire selon 7.6.2.

		Veuillez cocher la mention qui convient *Veuillez compléter*
7.6.2 Comparaison entre volume libéré et volume retenu La capacité de chacun des bassins de rétention est-elle suffisante pour pouvoir retenir le volume de la citerne qu'il entoure et désignée comme "non satisfait"?		Les indications doivent être récapitulées dans le tableau ci-après ou sur une feuille annexée.
		Feuille séparée (oui ou non) ☐ oui ☐ non
		Bassin ↔ Citerne

Bassin	Capacité F [m³]	Non satisfait Citerne n°	Contenu I_i [m³]	Contenu cumulé ΣI_i [m³]	$F > \Sigma I_i$ Oui/Non
					☐ oui ☐ non
					☐ oui ☐ non
					☐ oui ☐ non
					☐ oui ☐ non

		Le résultat est à reporter au chapitre 7.7.

		Veuillez cocher la mention qui convient *Veuillez compléter*
7.6.3 Evaluation des bassins de rétention Les bassins de rétention résistent au séisme de dimensionnement. La preuve requise est annexée au présent rapport succinct.		Les indications doivent être récapitulées dans le tableau ci-après ou sur une feuille annexée.

Feuille séparée (oui ou non)		☐ oui	☐ non
Bassin	Preuve jointe à l'annexe n°	oui	non
		☐	☐
		☐	☐
		☐	☐
		☐	☐

Remarques:

		Veuillez cocher la mention qui convient	
7.7. Evaluation de la sécurité de la citerne et du bassin contre les tremblements de terre		Sur la base des analyses selon chapitres 7.4 à 7.6	
		Les exigences relatives à la sécurité contre les tremblements de terre sont satisfaites (oui ou non)	☐ oui ☐ non
7.8 Conduites de remplissage et de soutirage Les conduites de remplissage et de soutirage sont-elles posées de manière à admettre des déformations sans perdre de leur étanchéité (tremblements de terre, variations de température)? (voir 3.14) CRL C18.7		Les exigences sont satisfaites (oui ou non)	☐ oui ☐ non
Remarques, compléments ou explications relatives à la question de la sécurité contre les tremblements de terre			

Notations Chapitre 7:

Annexe 6

Formulaire pour l'estimation de l'ampleur des dommages (rapport succinct, partie 2)

Annexe 6

Formulaire pour l'estimation des dommages potentiels (rapport succinct partie 2)

Sommaire:

1. Estimation des dommages en cas d'incendie d'un bassin 2

2. Estimation des dommages en cas de fuite d'hydrocarbures 5

3. Estimation des dommages en cas d'explosion dans une canalisation 10

4. Estimation des dommages pour le cas spécial «explosion d'un nuage de gaz» 14

5. Estimation des dommages pour le cas spécial «Boil over» 19

6. Estimation de dégâts matériels (indicateur n_6) 22

7. Calcul de l'indice d'accident majeur 25

Récapitulation des résultats 26

Entreprise:	
Date:	

Introduction

Pour compléter le présent formulaire destiné à l'estimation des dommages potentiels (annexe 6 du rapport-cadre), on appliquera par analogie les remarques relatives à l'annexe 5 (rapport succinct partie 1) et figurant au chapitre « Introduction et remarque préliminaire à propos de la récapitulation «.
Les champs du formulaire à compléter sont de couleur jaune.

1. Estimation des dommages en cas d'incendie d'un bassin

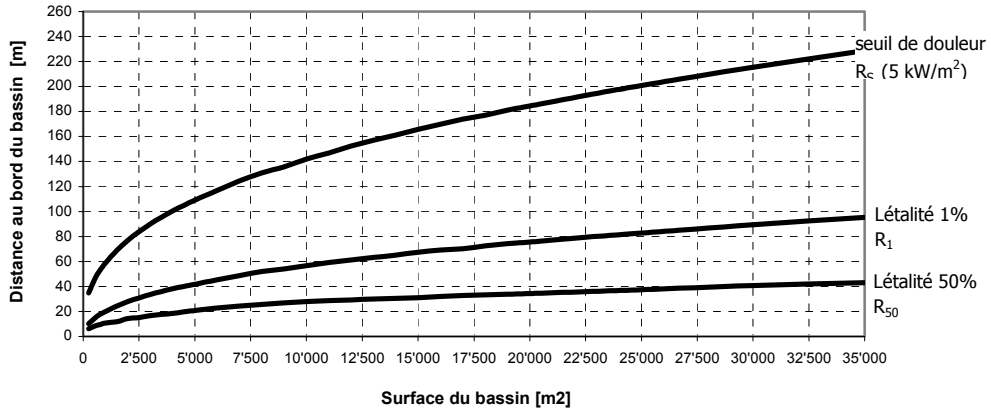
Détermination des rayons d'action
La surface déterminante du bassin sert de base pour déterminer les rayons d'effet.

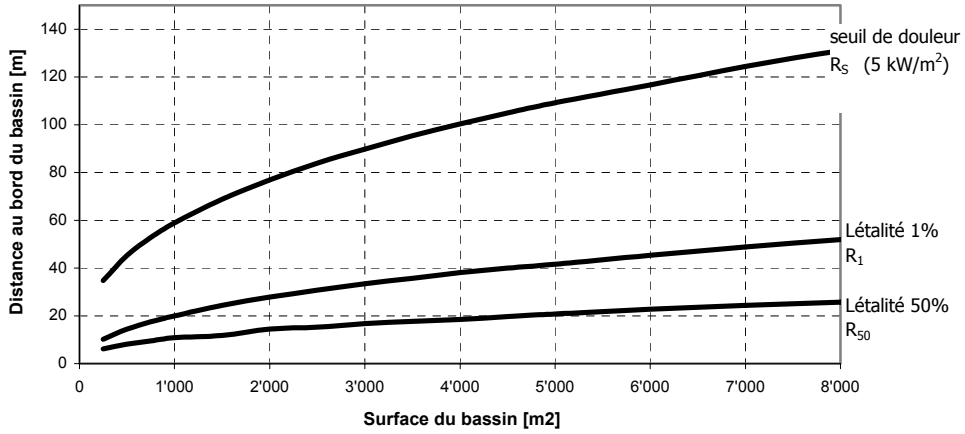
Surface(s) déterminante(s) du/des bassin(s)[1]:

a) Bassin ayant la plus grande surface	**N°:**	**Surface =** **m²**
b) Bassin le plus proche de la population	**N°:**	**Surface =** **m²**

Avec ces informations, on peut établir, à l'aide de la figure 1, les distances d'effet à partir du bord du bassin (rayon de létalité):

Fig. 1: Distances d'effet en cas d'incendie d'un bassin





Commentaire

[1] *Surface(s) déterminante(s) du/des bassin(s): Pour calculer la(les) surface(s) déterminante(s) du bassin, il faut déduire la surface de la base de la citerne. Par contre, les parois de séparation basses ne seront prises en considération que si elles sont capables de retenir le contenu de la plus grande citerne.*

Incendie d'un bassin

Bassin n°	Létalité 50%:	Létalité 1%:	Seuil de douleur:
	R_{50} = m	R_1 = m	R_S = m
	R_{50} = m	R_1 = m	R_S = m

Estimation des effets

Bassin n°	Rayons d'effet	Nombre de personnes touchées [1]	Facteurs de létalité F2[2]	Nombre de décès (= F x nombre de pers.)
	R_{50} = m R_1 = m		0.65 0.15	Total:
	R_{50} = m R_1 = m		0.65 0.15	Total:

Calcul de l'indice d'accident majeur

La conversion du nombre de décès en indice d'accident majeur sera effectuée à l'aide de la fig. 5 ou au moyen de la formule indiquée:

Bassin n°	Nombre de décès	Indice	Formule
		n_1 =	n_1 = 0.3 x log(nombre de décès)
		n_1 =	n_1 = 0.3 x log(nombre de décès)

Commentaire

[1] *Nombre de personnes touchées: dans le cas des immeubles d'habitation, les chiffres peuvent être obtenus auprès du contrôle des habitants; quant aux bâtiments industriels, il faut se renseigner directement auprès de l'entreprise afin de connaître le nombre maximal de postes de travail. Pour les autres affectations (terrains de sport, trafic), on procédera par estimation, à moins que les communes ou d'autres personnes ne puissent renseigner.*

[2] *Létalité, facteur F: plus la source de chaleur est éloignée, plus la létalité diminue. Pour simplifier, cette diminution est établie par approximation avec une fonction par paliers. Le facteur de létalité est la létalité moyenne dans un certain domaine de létalité. Dans le domaine jusqu'au rayon de létalité 50%, on appliquera le facteur 0,65, dans le domaine pour la létalité 1%, on appliquera le facteur 0,15.*

Incendie d'un bassin

La plus grande des valeurs obtenues doit être reportée sur la récapitulation (dernière page).

Incendie d'un bassin

Notations Chapitre 1:

2. Estimation des dommages en cas de fuite d'hydrocarbures

Le scénario «fuite d'hydrocarbures» est-il déterminant?

(cocher ce qui convient)

Y a-t-il un risque que le produit s'écoule dans les égouts de l'entreprise ou de la zone et puis parvienne dans une eau[1] ou atteigne une STEP via les canalisations d'eaux usées? ☐ oui ☐ non

Y a-t-il un risque qu'une fuite de produit s'écoule sur une surface imperméable ou non et, de là, parvienne dans une eau? ☐ oui ☐ non

Si vous avez répondu au moins une fois par «oui», les effets doivent être estimés ci-après. Si vous avez répondu deux fois par «non», ce scénario n'est pas déterminant; vous pouvez passer directement au chapitre 3.

Estimation des effets

Différents événements peuvent être déterminants pour le scénario principal «fuite d'hydrocarbures». Pour chaque événement, il convient donc d'évaluer les quantités qui se répandent sur le site par la canalisation de l'entreprise ou en surface et qui présentent ainsi un danger pour une eau ou pour la STEP.

Erreur de manipulation pendant la purge d'un bassin
Ce qui est déterminant, c'est la durée maximale d'une erreur de manipulation pendant la purge du bassin où la capacité de purge est la plus haute[2]. Pour estimer l'ampleur des dommages, la durée d'une telle erreur est fixée à 15 minutes au maximum.

Bassin n°	Débit du système de purge	Quantité maximale répandue	Formule
	E = m^3/min	P = m^3	P = E x 15 Min.

Commentaire

[1] *Par "eau", on entend aussi bien une eau superficielle qu'une eau souterraine.*

[2] *Ce qui est déterminant pour l'ampleur des dommages causés à une eau, c'est le bassin qui est relié à une eau ou à une STEP par la canalisation et qui présente la plus grande capacité de purge (pompe ou écoulement). Si l'installation possède divers systèmes de canalisations (et de volumes de rétention), il faudra si nécessaire calculer plusieurs bassins.*

Fuite d'hydrocarbures

Jet d'hydrocarbure par-dessus le bord du bassin

Ce qui est déterminant, c'est la citerne qui a le plus grand volume et la plus petite distance jusqu'au mur du bassin[1]. Pour le calcul, on se basera sur une citerne pleine (100% du volume utile).

Citerne n°	Hauteur citerne (niveau max du produit)	Surface de la citerne	Distance au mur	Hauteur du mur
	H = m	F = m^2	A = m	M = m
	H = m	F = m^2	A = m	M = m

Le calcul est basé sur le modèle de la trajectoire parabolique (trou de petite dimension par rapport au niveau du produit). On indiquera uniquement la citerne qui présente la plus grande fuite d'hydrocarbures.

Citerne n°	Volume maximal de produit répandu	Formule
	P = m^3	P = (H - A - M) x F

Débordement du bassin

Le débordement d'un bassin n'est possible que si, après une fuite, un volume supplémentaire est introduit dans le bassin (p. ex. de l'eau d'extinction). Le bassin déterminant est celui qui a la plus petite réserve de volume par rapport au contenu de la plus grande citerne y associée. La durée d'un apport d'eau d'extinction est estimée à 1 heure. On peut admettre que la durée de l'intervention des services est de 2 heures. S'agissant de l'apport d'eau de refroidissement, on admet une durée d'au moins ¼ d'heure[2].

Citerne n°	Volume utile	Volume d'eau (extinction et refroidissement)	Volume du bassin
	N = m^3	L = m^3	B = m^3
	N = m^3	L = m^3	B = m^3

La citerne déterminante est celle pour laquelle le volume de débordement est le plus grand:

Citerne n°	Quantité maximale répandue	Formule
	P = m^3	P = N + L - B

Commentaire

[1] *C'est dans une grande citerne dont la distance jusqu'au mur du bassin est petite que s'échappe la plus grande quantité de produit. Si les citernes sont de différentes grandeurs et si la distance jusqu'au mur du bassin varie, il faudra éventuellement calculer plusieurs cas pour établir la quantité maximale qui s'est répandue. Le scénario peut aussi se produire pour des citernes enterrées avec barrage de protection; on prendra dans ce cas, pour la hauteur du mur, la différence de hauteur entre le fond de la citerne et la crête.*

[2] *Etant donné que les citernes dans des bassins en feu ne sont pas refroidies, on admet un apport d'eau de refroidissement erroné d'une durée d'un quart d'heure. Sont refroidies selon CRL 2.1 a) F6 les citernes exposées, en particulier celles qui se trouvent dans des bassins voisins.*

Fuite d'hydrocarbures

Fuite lors d'une opération de transvasement
Est déterminante pour calculer la quantité maximale de produit écoulé l'importance d'une fuite, c'est-à-dire la quantité de produit qui s'est écoulée pendant la durée maximale jusqu'au colmatage de la fuite.

Produit répandu	Durée de la fuite	Quantité maximale répandue	Formule
A = m^3/min	D = min.	P = m^3	P = A x D

Estimation des effets

L'ampleur des dommages dépend surtout de la conception de l'installation et de son voisinage. De ce fait, il faut établir, pour chaque installation, les quantités de produit qui peuvent être retenues sur le site même (volumes retenus ou en surface). Dans l'estimation, on devra donc tenir compte de la topographie, de la proportion de surfaces perméables et non perméables ainsi que de l'emplacement des puits.

Evénement	Quantité maximale de produit	Rétention sur le site	Quantité écoulée dans une eau	Formule
Purge du bassin (21)	P = m^3	R = m^3	G = m^3 T = m^3	G (T) = P - R
Jet (22)	P = m^3	R = m^3	G = m^3 T = m^3	G (T) = P - R
Débordement (22)	P = m^3	R = m^3	G = m^3 T = m^3	G (T) = P - R
Fuite lors d'un transvasement (22)	P = m^3	R = m^3	G = m^3 T = m^3	G (T) = P - R

G: Quantité déversée dans une eau superficielle
T: Quantité déversée dans une eau souterraine

Pour l'extension de la fuite, on admet pour l'indicateur n_3 (eau superficielle) une répartition uniforme sur la surface de l'eau. Pour l'indicateur n_4 (eau souterraine/eau potable), on tiendra compte en plus des possibilités d'extension avec les distances jusqu'aux endroits mis en danger. Les dommages provoqués par les quantités d'eau polluées telles qu'on a pu les estimer s'obtiennent sur la base de la valeur limite spécifique. On calcule ces dommages avec les formules suivantes:

Déversement dans une canalisation (21)

Indicateur	Quantité déversée dans l'eau	Pollution de l'eau	Formule
n_3	G = m^3	V_G = km^2	$V_G = G \times 0.0567$ (cf. rapport chap. 5.3))
n_4	T = m^3	V_T = PM	$V_T = T \times 3.5 \times 10^6$ (cf. rapport chap. 5.3))

Calcul des **indices d'accident majeur**
La conversion de l'ampleur des dommages en indice d'accident majeur sera effectuée à l'aide de la fig.5 ou au moyen des formules:

Indicateur	Ampleur	Indice	Formule
n_3	km^2	n_3 =	$n_3 = 0.3 \times (\log(\text{nombre km}^2) + 1)$
n_4	PM	n_4 =	$n_4 = 0.3 \times (\log(\text{nombre PM}) - 3)$

Ces valeurs doivent être reportées dans la récapitulation (dernière page).

Ecoulement superficiel (22)

Indicateur	Quantité déversée dans l'eau	Pollution de l'eau	Formule
n_3	G = m^3	V_G = km^2	$V_G = G \times 0.0567$ (cf. rapport chap. 5.3)
n_4	T = m^3	V_T = PM	$V_T = T \times 3.5 \times 10^6$ (cf. rapport chap. 5.3)

Calcul des **indices d'accident majeur**
La conversion de l'ampleur des dommages en indice d'accident majeur sera effectuée à l'aide de la fig. 5 ou au moyen des formules:

Indicateur	Ampleur	Indice	Formule
n_3	km^2	n_3 =	$n_3 = 0.3 \times (\log(\text{nombre km}^2) + 1)$
n_4	PM	n_4 =	$n_4 = 0.3 \times (\log(\text{nombre PM}) - 3)$

Ces valeurs doivent être reportées dans la récapitulation (dernière page).

Fuite d'hydrocarbures

Notations Chapitre 2:

3. Estimation des dommages en cas d'explosion dans une canalisation

Le scénario «explosion» est-il déterminant?

(cocher ce qui convient)

De l'essence est-elle stockée dans l'installation? ☐ oui ☐ non

Une fuite d'essence peut-elle parvenir dans la canalisation publique? ☐ oui ☐ non

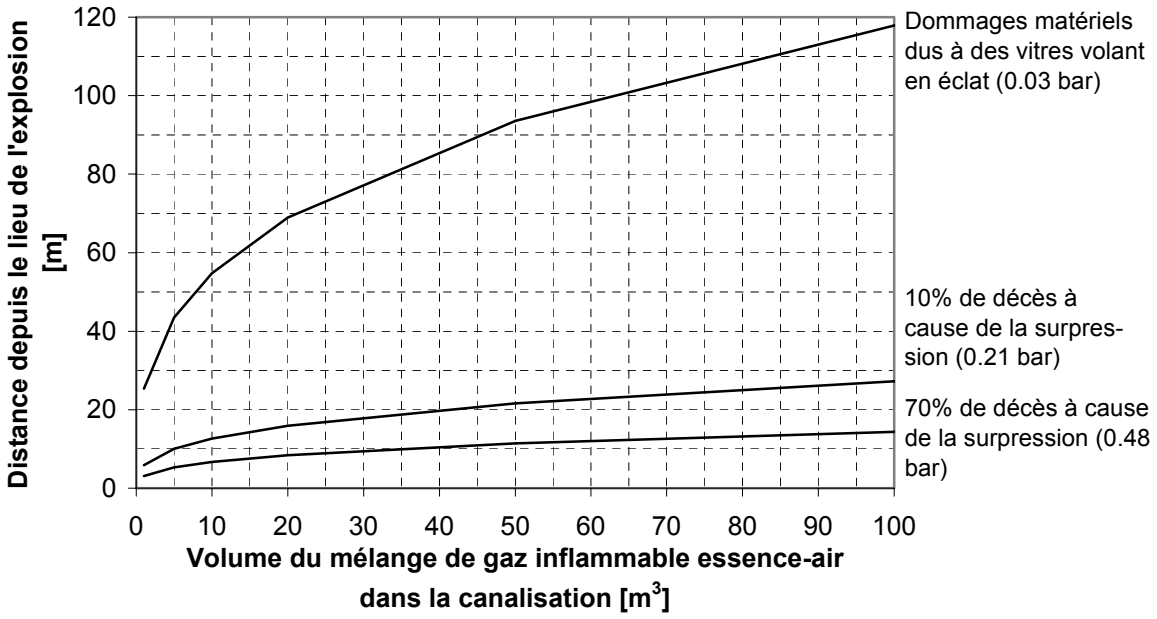
Si vous avez répondu deux fois par «oui», les effets doivent être estimés ci-après. Si vous avez répondu une fois par «non», ce scénario n'est pas déterminant; vous pouvez passer directement au chapitre 4.

Estimation des effets

Déflagration

Le diagramme ci-après montre les distances sur lesquelles s'étend l'explosion par rapport au volume inflammable dans la canalisation avec une surpression initiale de 7 bar, c'est-à-dire après une déflagration.

Fig. 2: Effets d'une déflagration pour différentes quantités de gaz inflammables



Explosion dans une canalisation

Détonation

Si les conditions sont défavorables, une détonation peut se produire dans la canalisation avec une surpression pouvant atteindre 25 bar. A cause de la baisse rapide de pression sur quelques mètres seulement, il y a peu de différence entre les effets d'un événement et de l'autre. Par conséquent, la figure 2 est aussi utilisée par approximation pour l'événement «détonation».

La quantité de gaz inflammable[1] dans le tuyau de la canalisation est déterminante pour l'événement «explosion»:

Section du tuyau	Longueur du tronçon [2]	Mélange gaz/air explosible	Formule
F = m^2	S = m	V = m^3	V = F x S

Sur la figure 2, on peut lire les distances d'effet $R_{0.48}$ et $R_{0.21}$ suivantes:

	Surpression 0,48 bar	Surpression 0,21 bar
Scénario déflagration	$R_{0.48}$ = m	$R_{0.21}$ = m

Estimation des effets

Les distances d'effet seront reportées sur le voisinage depuis le lieu de l'explosion[3].

Lieu de l'explosion	Rayon d'effet	Nombre de personnes touchées	Facteurs de létalité F	Nombre de décès (= F x nombre de pers.)
Début du tronçon	$R_{0.48}$ = m		0.70	
	$R_{0.21}$ = m		0.10	
				Total:
Fin du tronçon	$R_{0.48}$ = m		0.70	
	$R_{0.21}$ = m		0.10	
				Total:

Commentaire

[1] *Les vapeurs d'essence sont inflammables dans les limites de concentration de 0,6 à 8%. Pour l'estimation des effets, la concentration est fixée à 4.5%, ce qui correspond à peu près à un mélange de gaz stoechiométrique.*

[2] *La longueur déterminante du tronçon est donnée par la plus grande distance entre deux puits (ou entre d'autres points faibles) dans le réseau d'égouts publics hors du site de l'entreprise.*

[3] *Le lieu de l'explosion se trouve toujours là où il y a des points faibles (p. ex. des puits), c'est-à-dire en cas normal au début et à la fin du tronçon déterminant.*

Explosion dans une canalisation

Calcul des indices d'accident majeur

La conversion du nombre de décès en indice d'accident majeur sera effectuée à l'aide de la fig. 5 ou au moyen de la formule indiquée.

Lieu de l'explosion	Nombre de décès	Indice	Formule
Début du tronçon		n_1 =	indice n_1 = 0.3 x log(nombre de décès)
Fin du tronçon		n_1 =	indice n_1 = 0.3 x log(nombre de décès)

Le plus grand des deux indicateurs est à reporter dans la récapitulation (dernière page).

Explosion dans une canalisation

Notations Chapitre 3:

4. Estimation des dommages pour le cas spécial «explosion d'un nuage de gaz»

(cocher ce qui convient)

De l'essence est-elle stockée dans l'installation? ☐ oui ☐ non

Dans un rayon de 150 m, y a-t-il une forte densité de population, ou d'importants rassemblements de personnes, ou des immeubles dont l'évacuation est difficile? ☐ oui ☐ non

Si vous avez répondu deux fois par «oui», il convient d'examiner ci-après les effets d'un tel événement. Si vous avez répondu au moins une fois par «non», ce scénario n'est pas déterminant et vous pouvez passer directement au chapitre 5.

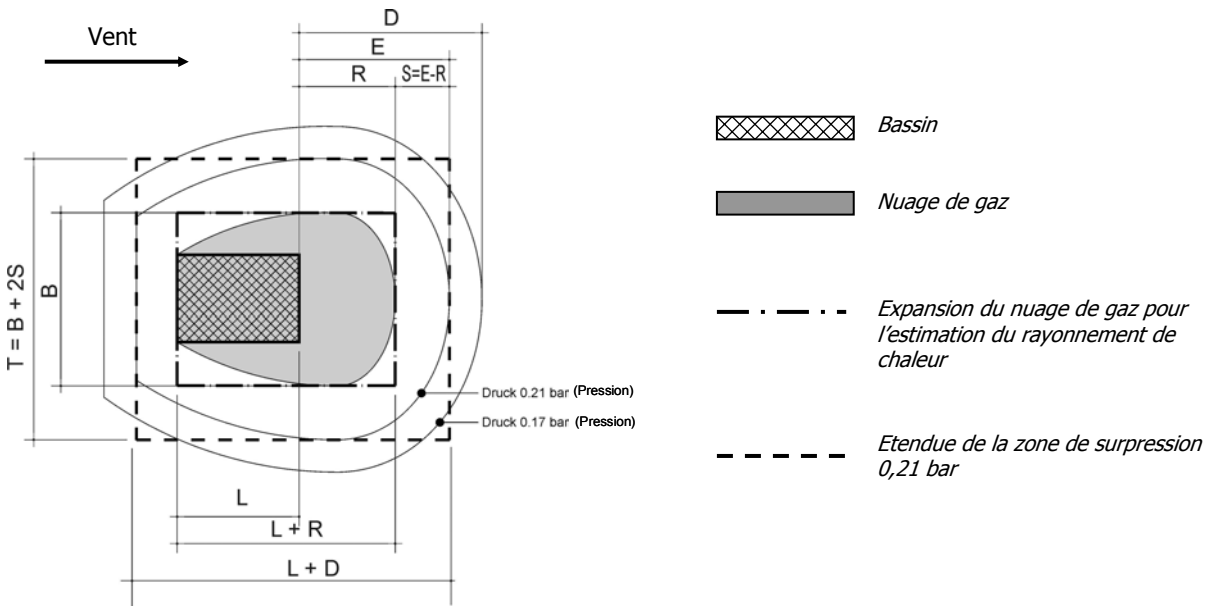
Calcul de la grandeur maximale du nuage de gaz
La surface déterminante du bassin constitue la base du calcul de la grandeur du nuage de gaz.

Surface(s) déterminante(s) du bassin (reprendre les données du chapitre 1, «incendie d'un bassin»):

a) Bassin présentant la plus grande surface	**N°:**	**Surface =** **m²**
b) Bassin le plus proche de la population	**N°:**	**Surface =** **m²**

Les figures ci-après indiquent, pour différentes surfaces de bassins, la grandeur du nuage de gaz ainsi que les surfaces touchées par l'onde de choc:

Fig. 3: Forme du nuage de gaz et dimensions des zones touchées



Explosion d'un nuage de gaz

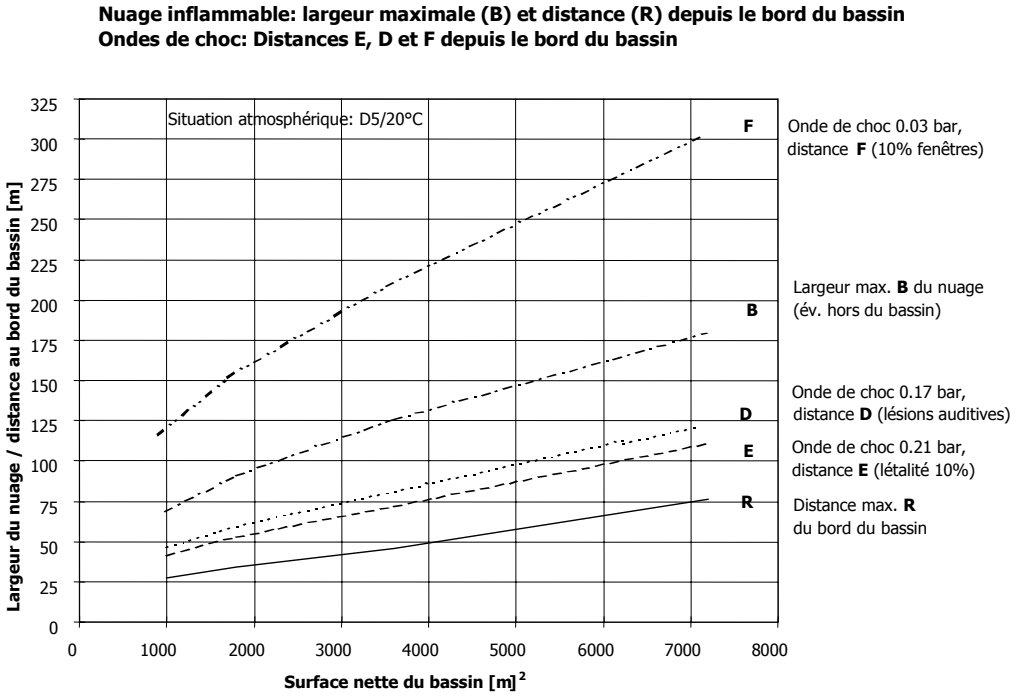


Fig. 4: Taille du nuage en fonction de la surface du bassin

Bassin n°	Longueur L [m]	Largeur nuage B [m]	Distance D [m]	Distance E [m]	Distance R [m]
a)	L = m	B = m	D = m	E = m	R = m
b)	L = m	B = m	D = m	E = m	R = m

Estimation des effets

Pour les effets du rayonnement de chaleur sur la population, on admet que 50% des personnes présentes à l'intérieur du nuage seront mortellement blessées. Pour les effets sur les personnes se trouvant à l'intérieur d'un bâtiment, on admet que 10% d'entre elles sont en danger. Hors du nuage, les effets du rayonnement de chaleur peuvent être négligés en raison de la courte durée du feu. Personne n'est mis en danger.
Pour les effets de l'onde de choc sur la population, on détermine la zone où la surpression dépasse 0,21 bar. 10% des personnes qui s'y trouvent sont mortellement blessées. On admet en outre, au sens d'une hypothèse conservative, que les bâtiments n'offrent pas de protection contre les effets de la pression, si bien que les personnes se trouvant à l'intérieur de bâtiments sont considérées comme se trouvant à l'extérieur.

Pour une installation donnée, l'ampleur des dommages peut varier selon la direction du nuage. Est déterminante en l'occurrence la direction dans laquelle se produiraient les dommages de la plus grande ampleur.[1]

Commentaire

[1] *On obtient la direction déterminante en transposant la grandeur du nuage de gaz depuis le bassin en direction du voisinage de l'installation. Suivant la position du bassin sur le site et son exposition, il convient d'examiner plusieurs directions. C'est seulement dans les cas dûment justifiés, p. ex. si la direction du vent est précise parce que le bassin se trouve dans une vallée, que l'on peut limiter les réflexions à une seule distance.*

Explosion d'un nuage de gaz

Effets de l'onde de choc:

Bassin n°

a)	L =	m	B =	m	D =	m	E =	m	R =	m	

Dimensions de la surface touchée:

S = E – R =	m
T = B + 2S =	m
L + D =	m

Nombre de personnes touchées D_a:

Bassin n°

b)	L =	m	B =	m	D =	m	E =	m	R =	m	

Dimensions de la surface touchée:

S = E – R =	m
T = B + 2S =	m
L + D =	m

Nombre de personnes touchées D_b:

Effets du rayonnement de chaleur:

Bassin n°

a)	L =	m	B =	m	R =	m	

Dimensions de la surface touchée:

B =	m
L + R =	m

Nombre de personnes touchées:

dehors:	
H_{aF}	
dans bâtiments:	
H_{aG}	
Total H_a:	

Bassin n°

b)	L =	m	B =	m	R =	m	

Dimensions de la surface touchée:

B =	m
L + R =	m

Nombre de personnes touchées:

dehors:	
H_{bF}	
dans bâtiments:	
H_{bG}	
Total H_b:	

Explosion d'un nuage de gaz

Ampleur Bassin a

Effet	Nombre de personnes touchées	Facteurs de létalité F	Nombre de décès = F x nombre de personnes
Onde de choc	D_a:		
Rayonnement de chaleur	H_a:		
	H_{aF}	0.50	
	H_{aG}:	0.10	
	D_a - H_a:	0.10	
			Total:

Ampleur Bassin b

Effet	Nombre de personnes touchées	Facteurs de létalité F	Nombre de décès = F x nombre de personnes
Onde de choc	D_b:		
Rayonnement de chaleur	H_b:		
	H_{bF}:	0.50	
	H_{bG}:	0.10	
	D_b - H_b:	0.10	
			Total:

Calcul de l'indice d'accident majeur

La conversion du nombre de décès en indice d'accident majeur sera effectuée d'après la fig. 5 ou au moyen de la formule. Est déterminante la valeur la plus élevée entre celle pour le bassin a), c'est-à-dire celui qui a la plus grande surface, et celle pour le bassin b), c'est-à-dire celui qui est le plus proche de la population:

Bassin n°	Nombre de décès	Indice	Formule
		n_1 =	n_1 = 0.3 x log(nombre de décès)

L'indice ainsi obtenu est à reporter dans la récapitulation à la dernière page.

Explosion d'un nuage de gaz

Notations Chapitre 4:

5. Estimation des dommages pour le cas spécial «Boil over»

Le scénario «Boil over» est-il déterminant?

(cocher ce qui convient)

L'installation sert-elle au stockage d'huile lourde, d'huile brute, de diesel ou de mazout? ☐ oui ☐ non

Y a-t-il d'importants rassemblements de personnes ou des immeubles difficiles à évacuer dans un rayon de 400 m autour de l'installation? ☐ oui ☐ non

Si vous avez répondu deux fois par «oui», les effets doivent être estimés ci-après. Si vous avez répondu au moins une fois par «non», ce scénario n'est pas déterminant; vous pouvez passer directement au chapitre 6.

Détermination du rayon d'évacuation

A) Seuil de douleur Rs
Par seuil de douleur, on entend le point où les personnes sont blessées après 10 à 20 secondes d'exposition à un rayonnement de chaleur de 5 kW/m^2. Pour estimer l'ampleur des dommages, on peut prendre comme référence pour les effets du boil over le rayonnement de chaleur de l'incendie d'un bassin[1].

Surface(s) déterminante(s) du bassin (reprendre les données du chapitre 1, «incendie d'un bassin»):

1) Bassin présentant la plus grande surface	**N°:**	**Surface =** **m^2**
2) Bassin le plus proche de la population	**N°:**	**Surface =** **m^2**

La surface du bassin et la figure 1 (incendie d'un bassin) permettent de déterminer le seuil de douleur:

Bassin n°	**Surface du bassin**	**Seuil de douleur R_s**	
	F = m^2	R_s = m	cf. fig. 1
	F = m^2	R_s = m	cf. fig. 1

Commentaire

[1] *Est déterminant le bassin correspondant aux citernes considérées (c'est-à-dire non destinées au stockage d'essence ou de kérosène). Si, dans le cas de l'incendie d'un bassin (chap. 1), c'est un bassin associé à une citerne d'essence ou de kérosène qui était déterminant (à cause de sa taille ou de son exposition), il convient donc d'en recalculer la surface.*

Boil over

B) Valeur limite selon le Ministère français de l'environnement

On peut également établir une estimation approximative (plus conservative) du rayon d'évacuation de 5 kW/m^2, en se servant d'une formule empirique reposant sur le contenu de la citerne (voir chiffre 7.2.3 du rapport):

Contenu déterminant de la citerne[1]:

1) Citerne présentant le contenu le plus élevé	**N°:**	**Contenu = m^3**
2) Citerne la plus proche de la population	**N°:**	**Contenu = m^3**

Le rayon d'évacuation se calcule de la manière suivante:

Citerne n°	Capacité max. en m^3 ou kg	10% du contenu	Rayon d'évacuation	Formule
	I = m^3 I = kg	M = kg	R = m	R = 5.86 x M$^{1/3}$
	I = m^3 I = kg	M = kg	R = m	R = 5.86 x M$^{1/3}$

Estimation des effets

Un rayonnement de chaleur de 5 kW/m^2 provoque des blessures au bout de 10 à 20 secondes d'exposition. A l'intérieur de ce périmètre, toutes les personnes qui ne peuvent pas être alarmées et évacuées entre le début de l'incendie et l'apparition du boil over (généralement plusieurs heures) sont donc mises en danger.

Prise en compte des rayons d'évacuation

Les rayons calculés selon les explications ci-dessus doivent figurer dans les plans d'intervention, sous une forme appropriée et après entente avec les services concernés.

Commentaire

[1] *On ne tiendra compte que des citernes servant à stocker de l'huile lourde, du diesel, du mazout ou de l'huile brute (donc pas de citernes d'essence ou de kérosène). La citerne déterminante est celle qui présente les plus grands effets potentiels, c'est-à-dire la citerne avec le plus grand contenu ou celle qui est la plus proche des personnes mises en danger.*

Boil over

Notations Chapitre 5:

6. Estimation de dégâts matériels (indicateur n_6)

L'indicateur «dégâts matériels» est-il déterminant?

(cocher ce qui convient)

De l'essence est-elle stockée dans l'installation? ☐ oui ☐ non

Si vous avez répondu par «oui», les effets d'une explosion doivent être estimés ci-après. Si vous avez répondu par «non», ce scénario n'est pas déterminant, et vous pouvez passer directement au chapitre 7.

Estimation des effets

Les effets peuvent être estimés au moyen du calcul d'ondes de choc et être évalués à l'aide des valeurs tirées des tableaux. En vertu de l'ordonnance sur les accidents majeurs, les coûts de séjours à l'hôpital, l'évacuation, les mesures temporaires et les interruptions d'exploitation ne peuvent pas être inclus dans ce calcul. Le tableau 1 ci-après donne un aperçu des dommages possibles consécutifs à une surpression.

Tab. Effets sur les infrastructures à la suite d'une surpression

Surpression [bar]	Effets sur les infrastructures
1	Destruction de bâtiments industriels
0,48	**Renversement de wagons-marchandises**
0,34	99% de dégâts aux structures des constructions
0,30	Effondrement de bâtiments
0,21	**50% de dégâts aux constructions**
0,17	50% de destruction d'ouvrages en maçonnerie
0,06-0,08	1% de dégâts aux bâtiments
0,02-0,03	**10% des vitres volent en éclats**

Le tableau ci-dessus et la figure 2 permettent d'établir pour les scénarios d'explosion une estimation approximative des effets sur les infrastructures et sur les bâtiments. Si nécessaire, il conviendra néanmoins d'effectuer des calculs complémentaires.

Dégâts matériels

Ces valeurs ainsi que les indications sur l'installation et sur le voisinage permettent d'évaluer les dommages potentiels que peuvent subir les diverses constructions ou les infrastructures:

Scénario	Rayon d'effet	Nature des dommages	Ampleur en mio. de Fr.
A) Explosion dans une canalisation	$R_{0.48}$= m $R_{0.21}$= m $R_{0.03}$ = m		Total:

Calcul des rayons selon la fig. 2

B) Explosion d'un nuage de gaz	$R_{0.21}$= m $R_{0.03}$= m		Total:

Calcul des rayons selon la fig. 4

Calcul de l'indice d'accident majeur

La conversion des dégâts matériels en indice d'accident majeur sera effectuée d'après la fig. 5 ou au moyen de la formule indiquée:

Evénement	Mio. de Fr.	Indice	Formule
A)		n_6 =	n_6 = 0.3 x (log (mio. de Fr.) - log 5)
B)		n_6 =	n_6 = 0.3 x (log (mio. de Fr.) - log 5)

Le plus grand de ces deux indices est à reporter sur la récapitulation en dernière page.

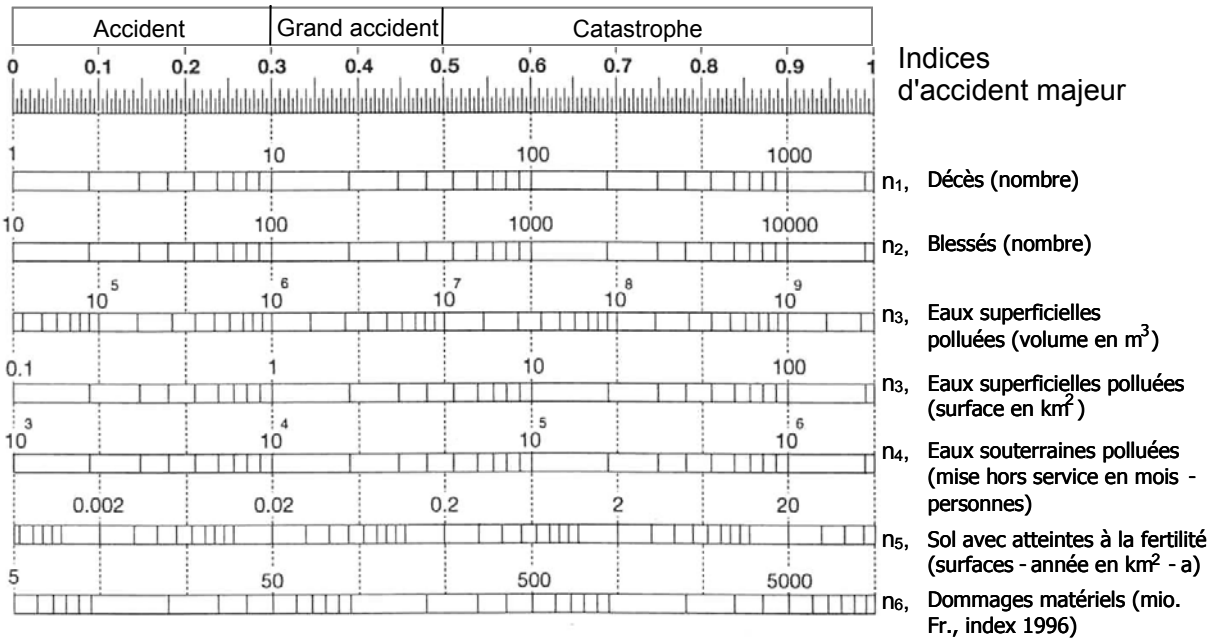
Dégâts matériels

Notations Chapitre 6:

7. Calcul de l'indice d'accident majeur

Les directives de l'OFEFP de 1996 permettent pour chaque indicateur, de convertir les valeurs obtenues pour l'ampleur des dommages en «indices d'accident majeur».

Fig. 5: Tableau de conversion des indices d'accident majeur



Récapitulation des résultats

1 Incendie d'un bassin (10)		**Scénario déterminant:**		☐ oui ☐ non
Rayons de létalité:				
R_1 =	[m]			Indice
R_{50} =	[m]	Nombre de décès =		n_1 =
2a Infiltration dans une canalisation (21)		**Scénario déterminant:**		☐ oui ☐ non
Quantité écoulée:		Pollution:		Indice
- dans une eau superficielle =	[m^3]	en surface [km^2] =		n_3 =
- dans une eau souterraine =	[m^3]	dans une eau souterraine [PM] =		n_4 =
2b Ecoulement en surface (22)		**Scénario déterminant:**		☐ oui ☐ non
Quantité écoulée:		Pollution:		Indice
- dans une eau superficielle =	m^3]	en surface e [km^2] =		n_3 =
- dans une eau souterraine =	m^3]	dans une eau souterraine [PM] =		n_4 =
3 Explosion dans la canalisation (23)		**Scénario déterminant:**		☐ oui ☐ non
Rayons d'effet:				
$R_{0.48}$ =	[m]			Indice
$R_{0.21}$ =	[m]	Nombre de décès =		n_1 =
4 Cas spécial explosion nuage de gaz (12)		**Scénario déterminant:**		☐ oui ☐ non
4.1 Effets du rayonnement de chaleur				
Largeur max. B =	[m]			Indice
Longueur max. L+R =	[m]	Nombre de décès =		n_1 =
4.2 Effets de l'onde de choc				
$R_{0.21}$ =	[m]			Indice
$R_{0.17}$ =	[m]	Nombre de décès:		n_1 =
5 Cas spécial boil over (16)		**Scénario déterminant:**		☐ oui ☐ non
Rayons d'évacuation:		Dégâts matériels [mio. de Fr.]		
R_s (5 kW/m^2) =	[m]	figure dans le plan d'intervention:		
R (10% contenu citerne) =	[m]	figure dans le plan d'intervention:		
6 Cas spécial dégâts matériels (n_6)		**Scénario déterminant:**		☐ oui ☐ non
				Indice
Explosion dans une canalisation:		Dégâts matériels [mio. de Fr.] =		n_6 =
				Indice

Résultats

Explosion nuage de gaz:	Dégâts matériels [mio. de Fr.] =		n_6 =	

Résultats

Notations Chapitre 7: